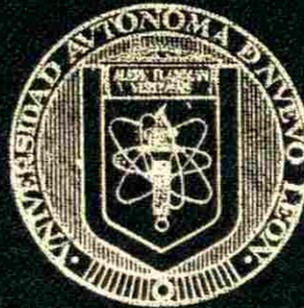


**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON**  
**FACULTAD DE MEDICINA**



**OBTENCION DE NUEVOS GENES DE LA  
HORMONA DEL CRECIMIENTO EN  
VERTEBRADOS**

**POR**

**ING. VICTOR MANUEL TREVIÑO ALVARADO**

Como requisito parcial para obtener el Grado de  
**MAESTRIA EN CIENCIAS CON ESPECIALIDAD EN  
BIOLOGIA MOLECULAR E INGENIERIA GENETICA**

**MAYO, 1999**

COMPTON  
144  
145

ING. VICTOR MANUEL TREVIÑO ALVARADO



# UANL

---

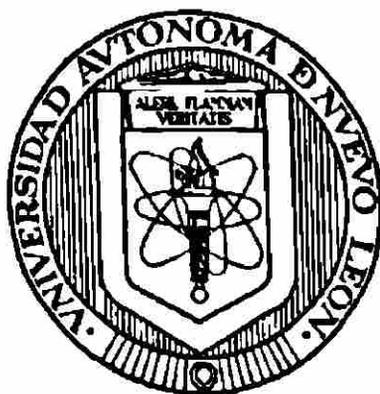
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN**

**FACULTAD DE MEDICINA**



**OBTENCIÓN DE NUEVOS GENES DE LA  
HORMONA DEL CRECIMIENTO EN  
VERTEBRADOS**

**Por**

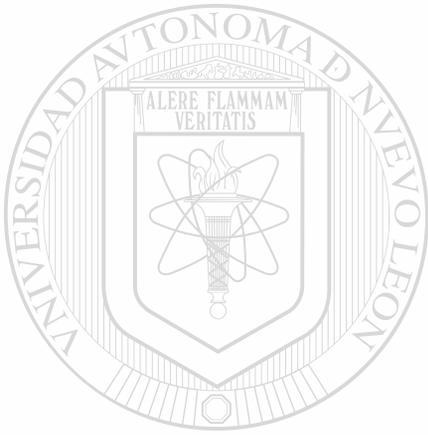
**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN**

**Ingeniero Víctor Manuel Treviño Alvarado**

**Como requisito parcial para obtener el Grado de  
MAESTRIA EN CIENCIAS con Especialidad en  
Biología Molecular e Ingeniería Genética**

**Mayo, 1999**

T  
9H44S  
T7



# UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

®

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



**OBTENCION DE NUEVOS GENES DE LA HORMONA DEL CRECIMIENTO  
(GH) EN VERTEBRADOS**

**Aprobación de la Tesis:**



---

**DRA. HERMINIA G. MARTÍNEZ RODRIGUEZ**  
Presidente



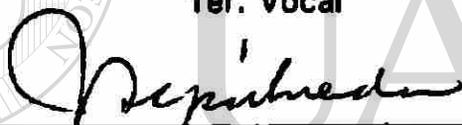
---

**DRA. AGNES REVOL DE MENDOZA**  
Secretario



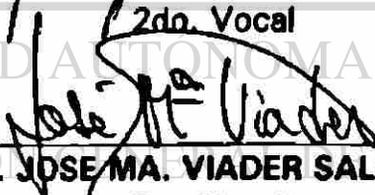
---

**DR. HUGO ALBERTO BARRERA SALDAÑA**  
1er. Vocal



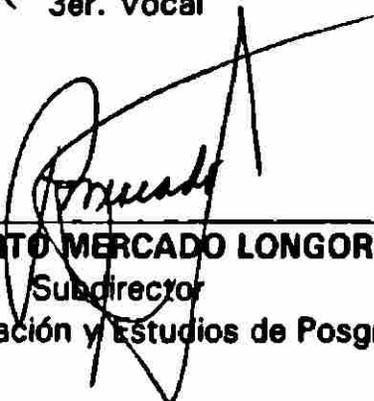
---

**DR. JULIO SEPULVEDA SAAVEDRA**  
2do. Vocal



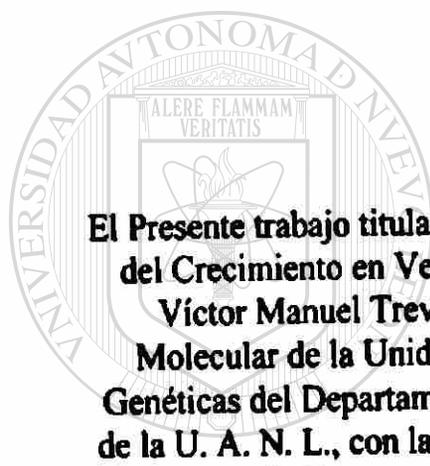
---

**DR. JOSE MA. VIADER SALVADO**  
3er. Vocal



---

**DR. ROBERTO MERCADO LONGORIA**  
Subdirector  
de Investigación y Estudios de Posgrado



**El Presente trabajo titulado “Obtención de Nuevos Genes de la Hormona del Crecimiento en Vertebrados” fue llevado a cabo por el Ingeniero Víctor Manuel Treviño Alvarado en el Laboratorio de Biología Molecular de la Unidad de Laboratorios de Ingeniería y Expresión Genéticas del Departamento de Bioquímica de la Facultad de Medicina de la U. A. N. L., con la Asesoría de la Dra. Agnès Revol de Mendoza y la Co-asesoría del Dr. Hugo A. Barrera Saldaña**

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

## **AGRADECIMIENTOS**

**A la Dra. Agnès Revol por su apoyo y dirección acompañados de amistad y convivencia.**

**Al Dr. José Ma. Viader y Dra. Martha Guerrero por su apoyo en este grado.**

**Al Dr. Hugo Barrera y la Dra. Herminia Martínez por haberme brindado esta oportunidad.**

**A mis compañeros de generación Dolores, Mario, Sandra, Flor, Maribel, Julio, Perla y Fermín, por acompañarme, ayudarme y hacer de los estudios momentos placenteros y especialmente a Dolores Ezquível por ser ella misma.**

**A Claudio Moreno y Carlos Vázquez por los momentos de enseñanza, compañía, amistad, regocijo, felicidad, filosofía, ciencia y sobre todo, hermandad.**

**A todos los profesores por su paciencia en mi desarrollo.**

**A todo el personal y estudiantes de la ULIEG y especialmente a los laboratorios de Biología Molecular y Celular, por agregar al trabajo científico momentos de interminable diversión.**

**Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por el apoyo económico para la realización de estos estudios.**

## **DEDICATORIA**

**A mi madre, Ma. Rita Alvarado Martínez, por haber dedicado toda su vida a sus hijos, por educarme para darme la oportunidad de soñar y por apoyarme para realizar algunos de mis sueños.**

**Al gran amor de mi vida, mi esposa Lucía Elizabeth Cuellar y a Peksi por ser la fuerza que siempre me acompañan y por darle sentido a mi vida.**

**A mis abuelos por mostrarme su experiencia.**

**A Lázaro Martínez, José González y Jorge Garza por introducirme al mundo fantástico de la computación.**

**DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS**

**A Jaime F. Treviño, Francisco Treviño y Jesús del Río por sus conversaciones filosóficas, especulativas e inductivas sobre la vida.**

***“El límite de una computadora es la inteligencia del programador.”***

***Autor desconocido***

***“¿Hasta dónde quieres llegar hoy?”***

***Microsoft***

***Las partículas se asocian para formar átomos, los átomos se asocian en moléculas, las moléculas en macromoléculas, éstas en células, luego en tejidos, órganos, sistemas y seres vivos, éstos a su vez también se asocian en familias, ciudades y países, asociados para compartir el mismo planeta, que está asociado con el sol y otros cuerpos a un sistema solar y este a una galaxia y luego al universo.***

***¿Habrá alguna “fuerza” que mantenga asociadas todas las cosas?***

***¿Habrá algo más allá de las partículas y del universo?***

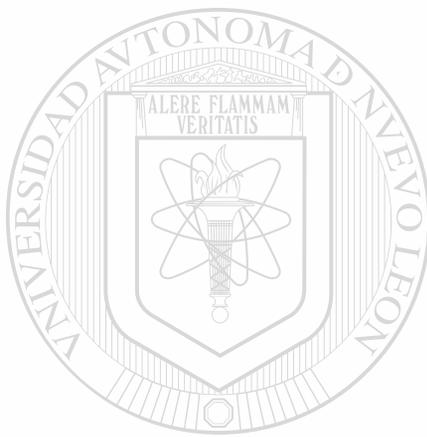
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

<b>LISTA DE TABLAS</b> .....	<b>V</b>
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	<b>VI</b>
<b>NOMENCLATURA</b> .....	<b>VII</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>IX</b>
<b>CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>1.1 EVOLUCIÓN MOLECULAR</b> .....	<b>1</b>
<b>1.2 HORMONA DEL CRECIMIENTO COMO MODELO EVOLUTIVO</b> .....	<b>3</b>
<b>1.3 HORMONAS DEL CRECIMIENTO</b> .....	<b>4</b>
<b>1.4 OBTENCIÓN DE LAS SECUENCIAS NUCLEOTÍDICAS</b> .....	<b>5</b>
<b>1.5 JUSTIFICACIÓN</b> .....	<b>5</b>
<b>CAPÍTULO 2 OBJETIVOS</b> .....	<b>7</b>
<b>2.1 OBJETIVO GENERAL</b> .....	<b>7</b>
<b>2.2 OBJETIVOS PARTICULARES</b> .....	<b>7</b>
<b>CAPÍTULO 3 MATERIAL Y MÉTODOS</b> .....	<b>8</b>
<b>3.1 ORIGEN DE LOS REACTIVOS</b> .....	<b>8</b>
<b>3.2 MATERIAL BIOLÓGICO</b> .....	<b>8</b>
<b>3.3 EQUIPO DE LABORATORIO</b> .....	<b>9</b>
<b>3.4 PAQUETES COMPUTACIONALES</b> .....	<b>9</b>
<b>3.5 ESTRATEGIA GENERAL</b> .....	<b>10</b>
<b>3.6 OBTENCIÓN Y ANÁLISIS DE LAS SECUENCIAS NUCLEOTÍDICAS Y AMINOACÍDICAS DE GH</b> .....	<b>10</b>
<b>3.6.1 OBTENCIÓN DE LAS SECUENCIAS</b> .....	<b>10</b>
<b>3.6.2 CONVERSIÓN DE LAS SECUENCIAS A UNA BASE DE DATOS LOCAL</b> .....	<b>13</b>
<b>3.6.3 SELECCIÓN DE LA MEJOR SECUENCIA DE CADA ESPECIE</b> .....	<b>13</b>
<b>3.6.4 AGRUPACIÓN DE LAS SECUENCIAS</b> .....	<b>13</b>
<b>3.6.5 ALINEAMIENTO DE LAS SECUENCIAS</b> .....	<b>14</b>
<b>3.7 DISEÑO DE LA SONDA “CONSENSO” PARA LAS GH</b> .....	<b>14</b>
<b>3.7.1 SELECCIÓN DE LA REGIÓN CONSERVADA COMO SONDA</b> .....	<b>14</b>
<b>3.7.2 AUMENTO DEL DESEMPEÑO DE LA SONDA</b> .....	<b>15</b>
<b>3.7.3 AJUSTES MANUALES DE LA SONDA</b> .....	<b>16</b>
<b>3.8 COMPROBACIÓN DE LA SONDA (GH-EXPLORER I)</b> .....	<b>16</b>
<b>3.8.1 COMPROBACIÓN TEÓRICO – VIRTUAL DE LA SONDA</b> .....	<b>16</b>
<b>3.8.2 COMPROBACIÓN PRÁCTICA – EXPERIMENTAL DE LA SONDA</b> .....	<b>16</b>
<b>3.9 DISEÑO DE INICIADORES PARA PCR</b> .....	<b>18</b>
<b>3.10 COMPROBACIÓN DEL JUEGO DE OLIGONUCLEÓTIDOS DISEÑADOS PARA ARTIODÁCTILOS</b> .....	<b>19</b>
<b>3.10.1 AMPLIFICACIÓN DEL GEN DE LA GH A PARTIR DEL DNAG DE ARTIODÁCTILOS</b> .....	<b>19</b>
<b>3.10.2 COMPROBACIÓN DE LOS AMPLICONES</b> .....	<b>19</b>

3.10.3 CLONACIÓN DEL AMPLICÓN DE JIRAF A Y ANÁLISIS DE LAS CLONAS RECOMBINANTES.....	20
3.10.4 SECUENCIACIÓN DE LAS CLONAS RECOMBINANTES DE JIRAF A.....	21
3.11 EXTRACCIÓN Y SEMICUANTIFICACIÓN DEL DNA GENÓMICO .....	21
<b>CAPÍTULO 4 RESULTADOS.....</b>	<b>22</b>
<b>4.1 OBTENCIÓN, SELECCIÓN Y AGRUPACIÓN DE LAS SECUENCIAS NUCLEOTÍDICAS Y AMINOACÍDICAS.....</b>	<b>22</b>
<b>4.2 ALINEAMIENTO DE LAS SECUENCIAS.....</b>	<b>23</b>
<b>SELECCIÓN DE LA SONDA .....</b>	<b>24</b>
4.3.1 COMPARACIÓN DE ALGORITMOS.....	24
4.3.2 DETERMINACIÓN DE LA POBLACIÓN DE OLIGONUCLEÓTIDOS POR EVALUAR.....	25
4.3.3 EVALUACIÓN DE LOS OLIGONUCLEÓTIDOS.....	26
4.4 DISEÑO DE LA SONDA ( <i>GH-EXPLORER I</i> ).....	29
4.5 COMPROBACIÓN DEL DESEMPEÑO DE <i>GH-EXPLORER I</i> .....	31
4.5.1 COMPROBACIÓN VIRTUAL DE <i>GH-EXPLORER I</i> .....	31
4.5.2 COMPROBACIÓN EXPERIMENTAL DE <i>GH-EXPLORER I</i> .....	33
4.6 DISEÑO DE OLIGONUCLEÓTIDOS INICIADORES PARA PCR.....	36
4.6.1 DISEÑO DE INICIADORES PARA ARTIODÁCTILOS.....	36
4.6.2 DISEÑO AUTOMATIZADO DE OLIGONUCLEÓTIDOS PARA PCR .....	37
4.7 COMPROBACIÓN DEL JUEGO DE INICIADORES DISEÑADO PARA ARTIODÁCTILOS.....	44
4.7.1 AMPLIFICACIÓN POR PCR EN ARTIODÁCTILOS.....	44
4.7.2 CLONACIÓN DEL AMPLICÓN DE JIRAF A .....	47
4.7.3 SECUENCIACIÓN DE LAS CLONAS RECOMBINANTES DE JIRAF A.....	48
<b>CAPÍTULO 5 DISCUSIÓN .....</b>	<b>51</b>
5.1 OBTENCIÓN Y COMPARACIÓN DE SECUENCIAS DE GH .....	51
5.2 DISEÑO DE LA SONDA.....	52
5.3 DISEÑO DE INICIADORES.....	55
5.4 IMPORTANCIA DE LA REGIÓN CONSERVADA EN EL EXÓN 5 DE GH.....	56
<b>CAPÍTULO 6 CONCLUSIONES.....</b>	<b>59</b>
<b>CAPÍTULO 7 ANEXOS .....</b>	<b>60</b>
7.1 ANEXO 1 .....	60
7.1.1 INFORMES (173) DE SECUENCIAS NUCLEOTÍDICAS DE LA GH EN GENBANK.....	60
7.2 ANEXO 2 .....	63
7.2.1 INFORMES (330) DE SECUENCIAS AMINOACÍDICAS DE LA GH EN GENBANK.....	63
7.3 ANEXO 3 .....	68
7.3.1 INFORME RESULTADO DE LA CONSULTA EN BLAST DE LA SONDA <i>GH-EXPLORER I</i> .....	68
7.4 ANEXO 4 .....	72
7.4.1 INICIADORES EN CDS DE LA GH. ....	72

**CAPÍTULO 8 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS ..... 76**



UANL

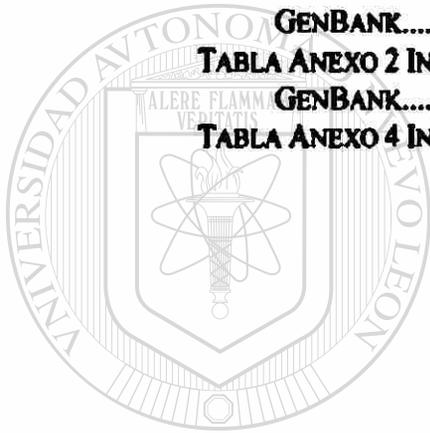
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

**LISTA DE TABLAS**

**TABLA 1.1 VELOCIDADES DE CAMBIO ..... 2**  
**TABLA 1.2 TOTAL DE SECUENCIAS REPORTADAS DE LA GH EN GENBANK ..... 3**  
**TABLA 3.1 DNA DE ESPECIES ENSAYADAS EN HIBRIDACIÓN CON SONDA..... 17**  
**TABLA 3.2 MUESTRAS DE DNA USADAS EN ENSAYO DE SENSIBILIDAD DE HIBRIDACIÓN CON SONDA ..... 17**  
**TABLA 3.3 TAMAÑOS DE LOS GENOMAS ..... 18**  
**TABLA 3.4 CONDICIONES Y PASOS SEGUIDOS EN LOS ENSAYOS DE PCR ..... 19**  
**TABLA 4.1 ESPECIES ORDENADAS POR CLASIFICACIÓN ..... 22**  
**TABLA 4.2 TOTAL DE SECUENCIAS POR CLASE ..... 23**  
**TABLA 4.3 APAREAMIENTO DE LA SONDA GH-EXPLORER I A DNA DE DIFERENTES ESPECIES..... 35**  
**TABLA 4.4 CONJUNTO DE SECUENCIAS USADAS PARA EL DISEÑO DE INICIADORES ..... 39**  
**TABLA 4.5 CONJUNTO DE INICIADORES SELECCIONADOS..... 41**  
**TABLA ANEXO 1 INFORMES DE SECUENCIAS NUCLEOTÍDICAS DE LA GH EN GENBANK..... 60**  
**TABLA ANEXO 2 INFORMES DE SECUENCIAS AMINOACÍDICAS DE LA GH EN GENBANK..... 63**  
**TABLA ANEXO 4 INICIADORES EN CDS DE LA GH ..... 72**



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

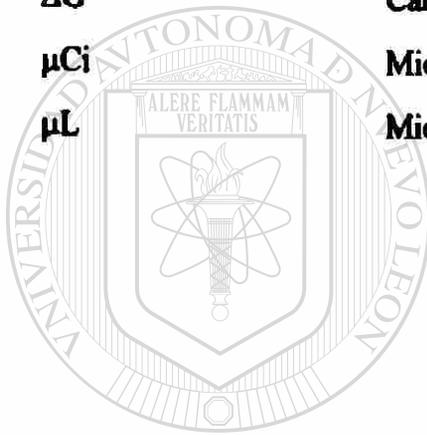
## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1.1 ESTRUCTURA TRIDIMENSIONAL DE LA GH PORCINA .....	4
FIGURA 3.1 ESTRATEGIA GENERAL.....	11
FIGURA 3.2 VISTA DE <i>BIOCODE EXPLORER</i> .....	12
FIGURA 3.3 ESTRATEGIA DE CLONACIÓN DEL AMPLICÓN .....	20
FIGURA 3.4 INICIADORES UTILIZADOS EN LA SECUENCIACIÓN DE LAS CLONAS ....	21
FIGURA 4.1 MATRIZ DE ALINEAMIENTO AMINOACÍDICO.....	24
FIGURA 4.2 COMPARACIÓN DE ALGORÍTMOS.....	25
FIGURA 4.3 FRECUENCIA DE ALINEAMIENTOS.....	26
FIGURA 4.4 INFORME DEL ALINEAMIENTO DE LA SONDA SEGÚN <i>MAXPROBE</i> .....	30
FIGURA 4.5 INFORME DEL APAREAMIENTO DE LA SONDA <i>GH-EXPLORER I</i> CON LAS SECUENCIAS DEL <i>GENBANK</i> .....	32
FIGURA 4.6 MEJORES APAREAMIENTOS.....	32
FIGURA 4.7 BAJO APAREAMIENTO.....	32
FIGURA 4.8 FALSO POSITIVO .....	33
FIGURA 4.A SEMICUANTIFICACIÓN DEL DNAG DE DIFERENTES ESPECIES .....	33
FIGURA 4.B DILUCIONES DE DNAG.....	34
FIGURA 4.9 HIBRIDACIÓN DE <i>GH-EXPLORER I</i> CON DNAG DE VARIAS ESPECIES... 35	
FIGURA 4.10 HIBRIDACIÓN DE <i>GH-EXPLORER I</i> CON TITULACIONES DE DNA .....	36
FIGURA 4.11 ALINEAMIENTO DE LA REGIÓN 5' UTR DE ARTIODÁCTILOS .....	37
FIGURA 4.12 ALINEAMIENTO DE LA REGIÓN 3' UTR DE ARTIODÁCTILOS .....	37
FIGURA 4.14 MAPA DE LAS POSICIONES DE APAREAMIENTO DE LOS INICIADORES PARA GH EN VERTEBRADOS .....	42
FIGURA 4.15 MAPA DE LOS INICIADORES PARA GH EN SECUENCIAS NO AMPLIFICADAS.....	43
FIGURA 4.20 GEL DE DNAG USADOS.....	44
FIGURA 4.21 CÁLCULO DEL TAMAÑO DEL AMPLICÓN.....	44
FIGURA 4.22 PRODUCTOS AMPLIFICADOS USANDO LOS INICIADORES DE ARTIODÁCTILOS .....	45
FIGURA 4.23 PURIFICACIÓN DEL FRAGMENTO A UTILIZAR COMO SONDA.....	46
FIGURA 4.24 HIBRIDACIÓN DE LOS AMPLICONES CON EL FRAGMENTO DE BGH ...	46
FIGURA 4.25 MINIPREPS DE LAS COLONIAS RECOLECTADAS.....	47
FIGURA 4.26 CARACTERIZACIÓN DE LOS INSERTOS.....	47
FIGURA 4.27 CARACTERIZACIÓN DEL AMPLICÓN.....	48
FIGURA 4.28 SECUENCIA DE DNAG DE <i>GIRAFFA CAMELOPARDALIS</i> (JCGH).....	49
FIGURA 4.29 COMPARACIÓN AMINOACÍDICA DE JCGH .....	50
FIGURA 5.1 APAREAMIENTO PROMEDIO DE LOS OLIGONUCLEÓTIDOS DE 32NT DE LONGITUD DERIVADOS DE LA SONDA FINAL.....	54
FIGURA 5.2 ALINEAMIENTO AMINOACÍDICO CON <i>GH-EXPLORER I</i> .....	58
FIGURA ANEXO 3 INFORME DE LA CONSULTA EN BLAST DE LA SONDA GH-EXPLORER I .....	69
FIGURA ANEXO 4 MAPA DE INICIADORES INTERNOS.....	74

## NOMENCLATURA

°C	Grados centígrados
DNA	Ácido desoxirribonucleico
DNAc	Ácido desoxirribonucleico complementario
BGH	Hormona del crecimiento bovino
Ci	Curies
Cols.	Colaboradores
Da	Daltones
e	10 elevado a una potencia
EDTA	Ácido etilendiaminotetracético
fg	fentogramos
GH	Hormona del crecimiento
h	Horas
hGH	Gen de la Hormona del crecimiento humano
GHR	Receptor de la hormona del crecimiento
HGH	Hormona del crecimiento humano
hGH-V	Gen variante de hormona del crecimiento humano
hPL-1	Gen 1 del lactógeno placentario humano
hPL-2	Gen 2 del lactógeno placentario humano
hPL-3	Gen 3 del lactógeno placentario humano
kb	Kilobases
M	Concentración molar
Mhz	Megahertz
Mb	Megabytes
min	Minutos
mL	Mililitros
ng	Nanogramos
nt	Nucleótidos
pb	Pares de bases

<b>PCR</b>	<b>Reacción en Cadena de la Polimerasa</b>
<b>pg</b>	<b>picogramos</b>
<b>PRL</b>	<b>Prolactina</b>
<b>RNA</b>	<b>Ácido ribonucleico</b>
<b>RNA<sub>m</sub></b>	<b>RNA mensajero</b>
<b>rpm</b>	<b>Revoluciones por minuto</b>
<b>SD</b>	<b>Desviación estándar</b>
<b>seg</b>	<b>Segundos</b>
<b>U</b>	<b>Unidades</b>
<b>X</b>	<b>Veces la concentración original</b>
<b>ΔG</b>	<b>Cambio en la energía libre</b>
<b>μCi</b>	<b>Microcuries</b>
<b>μL</b>	<b>Microlitros</b>



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

# RESUMEN

**Víctor Manuel Treviño Alvarado**

**Fecha de Graduación: Mayo, 1999**

**Universidad Autónoma de Nuevo León**

**Facultad de Medicina**

**Título del Estudio:**

**Obtención de Nuevos Genes de la  
Hormona del Crecimiento en  
Vertebrados**

**Número de Páginas:79**

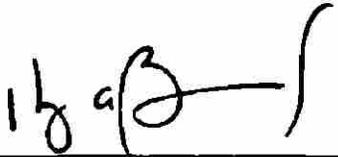
**Candidato para el Grado de Maestría  
en Ciencias con especialidad en  
Biología Molecular e Ingeniería  
Genética**

**Área de Estudio: Evolución Molecular**

**Propósito y Método del Estudio:** Para hacer reconstrucciones evolutivas, la Paleontología, la Embriología y la Bioquímica han estado proporcionando datos muy importantes. Sin embargo, el desarrollo de la Biología Molecular ha proporcionado una nueva herramienta para la evolución: Las secuencias de DNA y de aminoácidos de los genes. Los genes más adecuados para realizar las reconstrucciones filogenéticas son aquellos que tienen una amplia representación entre las especies a estudiar. La hormona del crecimiento (GH) se ha encontrado en todos los vertebrados estudiados a la fecha, con 56 secuencias nucleotídicas completas reportadas más 26 en secuencias aminoácídicas, la GH cuenta con un número adecuado de material para estudiar su evolución. Sin embargo, los reportes son principalmente de especies de interés industrial más que científico, al disponer de nuevas secuencias de GH de especies de órdenes no estudiados, se podrían precisar las reconstrucciones filogenéticas. Nos propusimos diseñar varios oligonucleótidos: iniciadores que permitan amplificar por PCR el gen de la GH y una sonda para tamizar bancos genéticos. Para eso, diseñamos una metodología de búsqueda de secuencias consenso analizando todos los oligonucleótidos de las secuencias en cuestión basada en dos etapas, la primera, calificando cada oligonucleótido con el número promedio de nucleótidos iguales a cada secuencia; y la segunda, evaluando los oligonucleótidos mejor calificados en la primera etapa con fórmulas específicas propias de los ensayos de PCR o de hibridación.

**Contribuciones y Conclusiones:** Logramos encontrar un fragmento altamente conservado en todas las secuencias de GH, mismo que sirvió de base para el diseño de una sonda. La utilidad de la sonda fue demostrada experimentalmente en ensayos de hibridación. La región conservada coincide con una de las regiones que intervienen en la unión a su receptor y está altamente conservada a lo largo de los vertebrados. Se logró diseñar iniciadores para amplificar por PCR el gen de la GH de diferentes órdenes de vertebrados y se comprobó el desempeño de un juego amplificando, clonando y secuenciando el gen de la GH de jirafa. La metodología diseñada para el estudio del gen de la GH, se puede aplicar a cualquier secuencia genética y el análisis se facilitó automatizando el proceso desarrollando programas de computadora.

  
Dra. Agnés Revol de Mendoza  
ASESORA

  
Dr. Hugo A. Barrera Saldaña  
COASESOR

# Capítulo 1

## Introducción

La teoría de la *Evolución* (Darwin, 1859) expresa que cada especie se derivó a partir de otra más simple. Esto ocurre gracias a un proceso llamado *Selección Natural*, donde el medio ambiente escoge de entre los individuos que compiten entre sí a los individuos genéticamente más aptos para sobrevivir y reproducirse. Darwin hizo una construcción de un árbol evolutivo de acuerdo con las características físicas de las especies. Después, conforme los científicos avanzaron en sus investigaciones, se fueron dando cuenta de que la construcción hecha por Darwin era valiosa pero un tanto “áspera”; pues solo comparaba las especies por su apariencia externa, zona geográfica y alimentación, entre otros. Esta información no podía responder con objetividad cuál era el orden consecutivo en que fueron surgiendo las especies, ni el tiempo que había transcurrido desde su divergencia. Además, los científicos no estaban totalmente de acuerdo en que la apariencia externa pudiera ser el factor determinante. Poco a poco fueron surgiendo otras ramas de la ciencia que también han aportado datos valiosos: 1) la *Anatomía Comparada*, que hace comparaciones de las estructuras óseas, identificando patrones de formación de los huesos; 2) la *Paleontología*, que usa fósiles para calcular el tiempo en que existieron las especies incluso muchas de ellas ya desaparecidas, además, proporciona datos de la estructura ósea, apariencia y en algunos casos hasta de las posibles formas de alimentación, movimiento y comportamiento; 3) la *Embriología Comparada*, que reconstruye la historia evolutiva comparando patrones de desarrollo del embrión; y 4) la *Inmunología y Bioquímica*, que proporcionan datos en el ámbito molecular acerca de reacciones enzimáticas, y estimación de similitud proteica y nucleotídica. Entonces, se ha reconstruido la historia evolutiva comparando desde rasgos burdos como la apariencia hasta datos moleculares. Recientemente con el desarrollo explosivo de la Biología Molecular se pueden ahora obtener las secuencias nucleotídicas de los genes (y también deducir las aminoácidos correspondientes) y con éstas, hacer comparaciones hasta el nivel nucleotídico, el nivel *elemental* del *programa genético* responsable del desarrollo de los organismos. Esta última información ha ido modificando, clarificando e incluso corrigiendo lo que se sabía anteriormente (O'Brien, 1993), creando el camino para una rama de la ciencia, relativamente nueva: La *Evolución Molecular*.

### 1.1 Evolución Molecular

La Evolución Molecular comprende tres áreas de estudio: (1) *La evolución de macromoléculas*, que se refiere a las velocidades y patrones de cambio que ocurren en el material genético y sus productos durante la evolución, así como a los posibles mecanismos de dichos cambios; (2) *la filogenia molecular* que estudia la reconstrucción de la historia evolutiva de macromoléculas y organismos deducidos de datos moleculares, y (3) *el origen*

de la vida, que estudia los posibles eventos y mecanismos que pudieron originar la vida en nuestro planeta (Li y Graur, 1991).

Es bien conocido que el DNA de todos los organismos está expuesto a cambios en su secuencia por diversos mecanismos llamados *recombinaciones*, *deleciones*, *inserciones* y *mutaciones puntuales*. Estos cambios ocurren a lo largo de todo el genoma y con relativa frecuencia. Sin embargo, dada la relevancia de la región mutada y el tipo de mutación, los cambios no *persisten* uniformemente en todo el genoma a través de las generaciones. Se ha demostrado en diversos estudios que las velocidades de dichos cambios (número de cambios en un sitio por unidad de tiempo) varían entre las diferentes regiones genéticas (regiones codificantes reguladoras e intergénicas); y aún entre ellas mismas (Tabla 1.1). Por estas razones, es deseable analizar la secuencia más completa del gen. Comparando las secuencias nucleotídicas o aminoácidas de un mismo gen entre diferentes especies, se pueden calcular en función del número de cambios y sus patrones, la cronología y las velocidades a las que ocurrieron estos cambios. Estos datos sirven para construir árboles filogenéticos que relacionan las proteínas o las especies entre sí. Al hacer reconstrucciones de árboles filogenéticos, se necesita de secuencias que tengan al menos algunas variaciones, ya que sin éstas no se podría hacer la reconstrucción. Al mismo tiempo, si existen muchas variaciones entre las secuencias, la reconstrucción puede ser difícil o poco confiable. Generalmente se usan secuencias que tengan variación moderada y que estén distribuidas entre las especies en estudio. También se usan secuencias de baja relevancia como pseudogenes para normalizar las estimaciones en tiempo de divergencia en las reconstrucciones.

Tabla 1.1 Velocidades de cambio de diferentes regiones génicas.

Secuencia <sup>‡</sup>	Longitud (aa)	Velocidad <sup>†</sup>
Histona 3 (mutaciones no sinónimas <sup>‡</sup> )	135	0.00 ± 0.00
Histona 3 (mutaciones sinónimas)	135	6.38 ± 1.19
Hormona de Crecimiento (mutaciones no sinónimas)	189	1.23 ± 0.15
Hormona de Crecimiento (mutaciones sinónimas)	189	4.95 ± 0.77
Interferón $\gamma$ (mutaciones no sinónimas)	136	2.79 ± 0.31
Interferón $\gamma$ (mutaciones sinónimas)	136	8.59 ± 2.56
5' UTR Hormona de Crecimiento	21	1.79 ± 0.85
3' UTR Hormona de Crecimiento	91	1.83 ± 0.41
5' UTR Apolipoproteína A-IV	83	3.06 ± 0.68
3' UTR Apolipoproteína A-IV	134	1.73 ± 0.33
$\alpha$ y $\beta$ Globina pseudogenes (vaca y cabra)		9.10 ± 0.90

<sup>‡</sup> Varían con la relevancia de la región y el tipo de mutación. Los cálculos fueron hechos a partir de secuencias de humano, ratón y rata, excepto donde se indica.

<sup>†</sup> El tiempo de divergencia se fijó en 80 millones de años. Las velocidades son mostradas en unidades de número de sustituciones por sitio por  $10^9$  años (extraído de Li y Graur, 1991).

<sup>‡</sup> Mutaciones no sinónimas son las que ocurren en las secuencias codificantes y cuya mutación produce también un cambio de aminoácido.

Se pueden construir árboles filogenéticos a partir de secuencias aminoácidas o nucleotídicas. Sin embargo, la mayor resolución se alcanza con las últimas, ya que cada residuo de aminoácido es codificado por 3 nucleótidos, dando 61 tripletes o codones para los 20 aminoácidos. En la actualidad es más fácil obtener la secuencia nucleotídica que la

aminoacídica; además, de la primera se puede deducir la segunda. De igual manera se pueden construir árboles filogenéticos de secuencias codificantes, no codificantes o ambas, y dado que las velocidades de cambio dependen de la cantidad de diferencias por nucleótido, entre más extensa sea la secuencia por analizar, mayor será la resolución en el cálculo de las velocidades.

Conforme el número de secuencias entre especies evolutivamente “lejanas” aumente, se incrementa la ramificación del árbol filogenético de las especies y se eleva la confiabilidad de sus bifurcaciones; y conforme aumente el número de secuencias entre especies evolutivamente “cercanas”, se van resolviendo las ramillas o las hojas de su rama. En la actualidad existen programas computacionales que ayudan en la realización de estos cálculos, y en la reconstrucción de árboles filogenéticos basándose en ciertos criterios y algoritmos. Entre otros, se encuentran el PHYLIP y CLUSTALW (Higgins, 1994) que realizan un análisis comparativo de las secuencias y proporcionan un árbol, matriz de cambios y/o alineamiento de las secuencias.

En síntesis, para construir un árbol filogenético, se requiere: (1) escoger el gen a estudiar como modelo evolutivo; (2) aumentar el número de secuencias conocidas de este mismo gen entre las diferentes especies, requiriéndose una metodología que facilite la obtención de dichas secuencias; y (3) utilizar modelos matemáticos para analizar las secuencias y construir el árbol evolutivo.

## 1.2 Hormona del Crecimiento como Modelo Evolutivo

Las hormonas del crecimiento (GHs) pertenecen a una familia de hormonas con similitud estructural y que incluye también a las prolactinas y lactógenos placentarios (PLs) (Sherwood, 1971; Niall y cols, 1971). Se cree que en los pre-vertebrados los genes de prolactina y GH se originaron de un gen ancestral común por duplicación génica seguida por la divergencia de los productos y que el producto polipeptídico de este gen ancestral debió parecerse más a la prolactina (Niall y cols., 1971; Seeburg, 1982; Miller & Eberhardt, 1983). En primates, una segunda duplicación ahora en el gen de la GH, dio origen a los PLs. Tanto la prolactina como la GH están presentes en todos los vertebrados estudiados hasta la fecha (Niall, 1971), entonces el estudio de la GH como modelo evolutivo nos daría datos relevantes para la reconstrucción de árboles filogenéticos exclusivamente de vertebrados. A pesar de que hay muchas secuencias reportadas, hay una tendencia hacia las especies de interés comercial y no tanto a las de relevancia evolutiva.

**Tabla 1.2** Total de secuencias de la GH reportadas en GenBank.

Clases	Secuencias Nucleotídicas Reportadas
Peces	41
Anfibios	3
Reptiles	0
Aves	1
Mamíferos	17
Marsupiales	1

### 1.3 Hormonas del Crecimiento

Las GHs de mamíferos en su forma madura son péptidos de alrededor de 190 aminoácidos con un peso molecular de 22,000Daltones (22KDa), iniciando generalmente con un residuo fenilalanina. La forma precursora tiene alrededor de 215 aminoácidos incluyendo en su extremo amino terminal un péptido señal de 25 aminoácidos. Estas hormonas son producidas y secretadas por los somatotrofos de la hipófisis anterior y estimulan el crecimiento lineal en los animales. Las GHs contienen dos enlaces disulfuro entre cisteínas que estabilizan la estructura tridimensional activa, no contienen glucosilaciones (Niall y cols., 1973; Santomé y cols., 1973; Sato y cols., 1988) y sus características las hacen muy factibles de secuenciar (Ascacio-Martínez, 1994; Castro-Peralta, 1995) y producir en microorganismos (Escamilla, 1996; Gallardo-Blanco, 1998).

Se ha observado que todas las GHs presentan efectos fisiológicos muy similares en los vertebrados estudiados, pero a veces no solo pueden ser activas en la especie de origen sino también en especies que se sitúan abajo en la escala evolutiva. Por ejemplo, la GH bovina, se usa para estimular el crecimiento en peces, pero la GH de peces no ha mostrado actividad en bovinos (Juskevich, 1988).

La estructura de los genes de las GHs está muy conservada, formada por 5 exones separados por 4 intrones, con ciertas excepciones en algunos peces Salmoniformes que presentan 6 exones y 5 intrones. Las estructuras terciarias se caracterizan por presentar 4 hélices  $\alpha$  que están conservadas (Figura 1.1) en mamíferos como lo muestran las estructuras cristalográficas de las GHs del cerdo (Abdel-Mequid y cols., 1987) y del humano (De Voss y cols., 1992), así como la predicha para la vaca (Carlacci y cols., 1991).

En la actualidad se cuenta con las secuencias nucleotídicas y/o aminoacídicas de la GH de varias especies particularmente en las de interés agropecuario (Tabla 1.2). Mayoritariamente solo está disponible la secuencia de aminoácidos. En cuanto a la secuencia nucleotídica, frecuentemente solo se conocen las secuencias que codifican para las proteínas (RNA<sub>m</sub> o DNA complementario - DNA<sub>c</sub> -) y éstas son todavía parciales en algunos casos. No obstante, existen muchas especies y órdenes en los cuales no se ha reportado secuencia alguna hasta ahora.

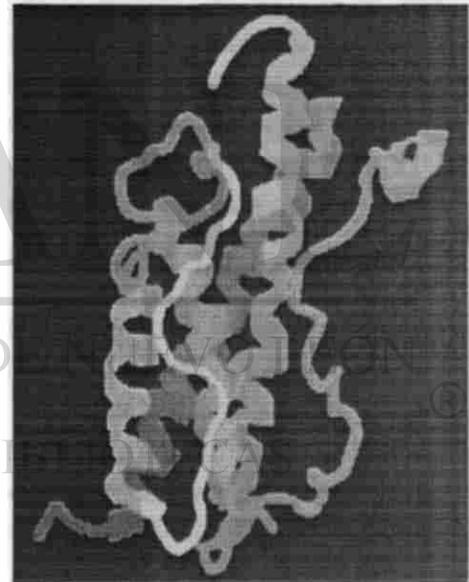


Figura 1.1 Estructura tridimensional (3D) de la GH porcina. En diferentes colores se muestran las 4 hélices  $\alpha$  (recreada en RasMol v2.6).

## 1.4 Obtención de las Secuencias Nucleotídicas

El material genético se puede obtener tanto del DNA de células nucleadas e indirectamente del RNAm de células que expresan el gen a estudiar, una vez que en el laboratorio se retrotranscribe a DNA por la acción enzimática de una transcriptasa reversa. El DNA resultado de transcripción reversa es llamado DNA complementario (DNAc) y no incluye intrones, ya que proviene del RNAm maduro.

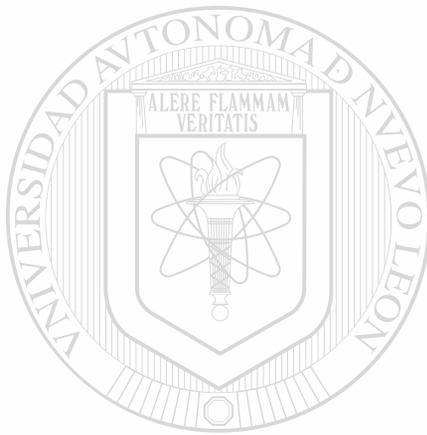
Originalmente las secuencias nucleotídicas se obtuvieron al tamizar bancos de genes o genotecas de DNA genómico (DNAg) y bancos de DNAc. Para construirlos, se purifican a partir del tejido de interés, el DNAg o los RNAm. El material se fragmenta cortando con enzimas de restricción el DNAg o se prepara retro-transcribiendo el RNAm en DNAc. La construcción del banco se logra insertando los fragmentos de DNA en un vector derivado de un fago lítico por ejemplo, que se usa para infectar bacterias. La selección de las clonas que tienen el fragmento de interés se puede hacer por hibridación del DNA con sondas homólogas o heterólogas, o por actividad inmunológica o enzimática del producto. Ya seleccionada la colonia fágica, se extrae el DNA, se corta y se obtiene la secuencia del fragmento que contiene. Así, se obtuvo de hipófisis de la trucha arco iris *Oncorhynchus mykiss*, el DNAc de la GH (Agellon y cols., 1986). Cuando no se tiene información sobre la proteína en estudio de una especie dada, pero se conoce la de la proteína homóloga en otra especie relativamente cercana, se pueden utilizar en el tamizaje sondas heterólogas de la especie conocida. De esta manera, por ejemplo, se obtuvieron el DNAc de *Caranx delicatissimus* al usar una sonda de *Seriola quinqueradiata* (Yamakawa y cols., 1988) y para el DNAc de cabra, se utilizó el DNAc de vaca (Yamano y cols. 1988). El gen de la GH bovina se obtuvo a partir de DNAg de hígado cortado con *EcoRI* y clonado en un vector derivado del bacteriófago  $\lambda$  (Gordon y cols. 1982).

Con el incremento de secuencias reportadas y con la aparición de la Reacción en Cadena de la Polimerasa conocida como PCR (por sus siglas del inglés), la obtención de secuencias nucleotídicas se ha facilitado enormemente. Al tener los oligonucleótidos adecuados, se puede amplificar el fragmento de interés y evitar la construcción del banco. Así se obtuvieron la secuencia de DNAc de perro *Canis familiaris* (Ascacio-Martinez y cols., 1995), de gato *Felis catus* (Castro-Peralta y cols., 1995), y de caballo *Equus caballus* (Ascacio-Martinez y cols., 1995).

## 1.5 Justificación

Diseñando oligonucleótidos consenso de un grupo de especies, se puede amplificar específicamente el gen de la GH por PCR sin la necesidad de construir un banco. Para los casos en los que no se logra obtener un producto de PCR de la GH usando los oligonucleótidos diseñados y para aprovechar los bancos construidos, se puede diseñar un oligonucleótido consenso que sirva para sondear un banco.

En la actualidad, se conocen al menos 4060 especies vivientes de mamíferos, de las cuales 171 (4%) corresponden a Artiodáctilos y a pesar de que es el 5° orden con más especies, es el orden con más secuencias conocidas de DNA de la GH (7 especies, 5%) gracias a su interés agropecuario. Sin embargo de la familia de *Giraffa camelopardalis*, todavía no existe una secuencia de GH reportada. Los Artiodáctilos, constituyen entonces un buen modelo para tratar de diseñar oligonucleótidos consenso que permitan amplificar sus genes de la GHs. Al mismo tiempo, se podría diseñar un oligonucleótido consenso que al usarse como sonda y facilitar el aislamiento de los genes de las GHs de cualquier vertebrado.



# UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

## Capítulo 2

### Objetivos

Contribuir al conocimiento de la filogenia molecular, facilitando la obtención de nuevas secuencias de la hormona del crecimiento mediante el desarrollo de oligonucleótidos específicos para diferentes órdenes de vertebrados.

#### 2.1 Objetivo General

Diseñar un método que facilite la detección de genes de las hormonas del crecimiento de vertebrados.

#### 2.2 Objetivos Particulares

1. Recuperar las secuencias nucleotídicas y/o aminoacídicas de las hormonas del crecimiento (GH) reportadas en los bancos de información existente.
2. En función de la clasificación de las especies, agrupar y alinear dichas secuencias de GHs, seleccionando de cada especie el informe de la secuencia más completa o más actualizada.
3. Seleccionar una región altamente conservada en la escala evolutiva que permita diseñar un(os) oligonucleótido(s) como sonda para tamizar bancos de DNAg o DNAc.
4. Comprobar la utilidad los oligonucleótidos tanto en el laboratorio (por hibridación con DNA de varias especies) y en computador (por comparación con las secuencias reportadas).
5. En los órdenes donde sea factible, diseñar oligonucleótidos consenso que permitan obtener el gen de la GH, amplificando por PCR.
6. Confirmar la utilidad del juego de oligonucleótidos diseñado para Artiodáctilos, amplificando a partir del DNA genómico de jirafa, su gen de la GH.

## Capítulo 3

### Material y Métodos

#### 3.1 Origen de los Reactivos

Las enzimas de restricción fueron adquiridas de Gibco-Bethesda Research Laboratories, Inc. (Gibco-BRL, Gaithersburg, MD, EUA) y de New England Biolabs, Inc. (NEB, Beverly, MA, EUA).

La enzima *Taq* DNA polimerasa, dNTP's y reactivos necesarios para realizar la PCR fueron adquiridos de Promega (Madison, WI, USA).

La enzima T4 polinucleótido cinasa y su solución amortiguadora fue adquirida de New England Biolabs, Inc. (United Kingdom).

El juego de hexanucleótidos fue adquirido de Gibco BRL (Gaithersburg, MD, EUA).

Los nucleótidos radioactivos [<sup>32</sup>P]-αdATP y [<sup>32</sup>P]-γdATP NEG502Z se adquirieron de las compañías Amersham International (Buckinghamshire, UK) y New England Nuclear (Boston, MA, EUA) respectivamente.

El DNA del fago λ usado como control negativo marcador de peso molecular en los geles fue adquirido en Gibco BRL (Gaithersburg, MD, EUA).

El Kit de secuenciación AmpliCycle fue de Perkin-Elmer Cetus (Norwalk, CT, EUA).

El oligonucleótido (*GH-Explorer 1*) usado como sonda general de la GH en ensayos de hibridación fue sintetizado por Life Technologies (Gibco-BRL, Gaithersburg, MD, EUA).

El juego de oligonucleótidos para Artiodáctilos fue sintetizado en el laboratorio de Química Biomolecular de la ULIEG.

#### 3.2 Material Biológico

El vector utilizado para la clonación del producto amplificado de la hormona del crecimiento de jirafa, pBS(II)-SK+, se obtuvo de la plasmidoteca de la ULIEG.

El plásmido pPic9kBGH (Gallardo y cols., 1998) usado para obtener un fragmento de 494pb utilizado como sonda fue obtenido de la plasmidoteca de la ULIEG, construido y proporcionado amablemente por el Biol. Hugo Gallardo y el Dr. Hugo Barrera.

El plásmido pBR322 usado como control negativo y de peso molecular en los experimentos de hibridación fueron obtenidos de la plasmidoteca de la ULIEG y proporcionados por J. Claudio Moreno Rocha.

El plásmido pBS-hPL-3 usado como marcador de peso molecular fue obtenido de la plasmidoteca de la ULIEG, proporcionado y construido por el Biólogo y M. C. J. Claudio Moreno Rocha.

El plásmido pSV-hPL-1 usado como problema en una hibridación fue obtenido de la plasmidoteca de la ULIEG.

El tejido placentario y sangre de jirafa así como la sangre de gamo, cebrá y avestruz utilizados para la extracción de DNA, amplificación y clonación de la GH, fueron

proporcionados por la Ing. Rocío García Rojas del Departamento de Veterinaria de Africam Safari de Puebla, México.

Las muestras obtenidas de sangre de puerco, vaca y cabra utilizados para la extracción de DNA, fueron obtenidas del Rastro Municipal de Monterrey, Nuevo León, México.

Los tejidos de tiburón, catarán, guppy, carpa, tilapia, ameca y serpiente fueron donados por el Dr. Roberto Mendoza y por el Dr. Carlos Aguirre del Laboratorio de Fisiología y del Museo de Historia Natural respectivamente, ambos de la Facultad de Ciencias Biológicas de la UANL.

El tejido de pollo fue donado por Vicant Representantes Internacionales S. de R.L.C.V., en Monterrey, Nuevo León, México.

El tejido de lagartija y tortuga fue donado por Lucia Elizabeth Cuéllar Chávez.

El tejido placentario de gato fue donado por el Departamento de Fisiología de la Facultad de Medicina de la UANL y proporcionado por M.C. y Q.F.B. Ana María Sifuentes Rincón.

Una fracción del DNA humano fue extraída de sangre del M.C. y Biol. J. Claudio Moreno Rocha del laboratorio de Biología Molecular de la ULIEG.

El DNA de gamo, búfalo americano y una fracción del DNA humano fueron proporcionados por la Q.C.B. Dolores Esquivel del laboratorio de Biología Molecular de la ULIEG de la Facultad de Medicina de la UANL.

El tejido de la cepa de ratón CD1 fue donado por el Departamento de Inmunología de la Facultad de Medicina de la UANL, y proporcionado por M.C. y Q.F.B. Irma Martínez Ávila.

Todo el material biológico, aunque no representa algún riesgo para la salud, fue manejado siguiendo los requerimientos impuestos por la Secretaría de Salud. El manejo de productos radiológicos se realizó siguiendo los lineamientos de la Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguarda de la Secretaría de Energía.

### 3.3 Equipo de Laboratorio

Se utilizaron microcentrifugas *Eppendorf* modelos 5402 y 5415, fuentes de poder *EC600* e *ISCO494*, un agitador de tubos (vortex) modelo *Maxi Mix*, una placa agitadora con control de temperatura modelo *PC320* marca *Corning*, un ultracongelador marca *So-Low* de *Environmental Equipment*, una campana de flujo laminar marca *Labconco Corporation*, dos termocicladores modelo *PT150* y *PT100* marca *MJ Research*, una báscula digital marca *Sartorius* modelo *1206MP*, un equipo de secuenciación *Genomyx* de *Genomyx Corporation*, un horno incubador *Hybrid Incubator*, así como material clásico de laboratorio.

### 3.4 Paquetes Computacionales

Se utilizaron los paquetes incluidos en *Microsoft Office '97*, *Word* como procesador de texto, *PowerPoint* como editor de diapositivas y *Excel* como creador de hojas de cálculo. Un sistema *UMAX Scan* (©1990-1991 *UMAX Scanner Driver*, *Impact Research Inc*) de

adquisición de imágenes y como manejador Adobe Photoshop Limited Edition 2.5.1. Un sistema modelo Gel-Doc 1000 de BioRad (U. K.) como digitalizador de imágenes de geles y/o películas y el *Molecular Analyst* incluido con este sistema como cuantificador.

Para análisis en Biología Molecular, se usó *Amplify* v1.2b (Bill Engels © 1992 University of Wisconsin Genetics M. Madison, WI, EUA), *DNA Strider™* v1.1 (© Chemical Merck and C.E.A. 1989 Service de Biochimie-Département de Biologie-Institut de Recherche Fondamentale-CEA-FRANCE), *OLIGO* v4.0 (© 1992, Plymouth, Mn, EUA).

Para los alineamientos se utilizó *CLUSTALW* versión PC.

Para los análisis densitométricos de las hibridaciones se utilizó *ImageTool* v1.28 (© 1995-1997 The University of Texas Health Science Center en San Antonio, Texas, EUA).

Para el almacenamiento en base de datos y desarrollo de programas se utilizó *Visual Basic* v5.0 (© Microsoft Corp.) y *Visual C++* v5.0 (© Microsoft Corp.) respectivamente.

### 3.5 Estrategia General

Para conseguir los objetivos planteados en este proyecto, se propuso la estrategia general que se muestra en la Figura 3.1.

### 3.6 Obtención y Análisis de las Secuencias Nucleotídicas y Aminoacídicas de GH

#### 3.6.1 Obtención de las Secuencias

Para obtener las secuencias, se usaron las direcciones de Internet del GenBank:

[www.ncbi.nlm.nih.gov/Entrez/nucleotide.html](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/Entrez/nucleotide.html)

[www.ncbi.nlm.nih.gov/Entrez/protein.html](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/Entrez/protein.html)

Se introdujo la consulta:

<"growth hormone"[Protein Name] | "somatotropin"[Protein Name]>\*

\* El símbolo "|" en computación significa "OR" que quiere decir "O" (alternativa) y se usa para no provocar confusión con la palabra "OR". Los símbolos "<>" se utilizan para delimitar una expresión literal.

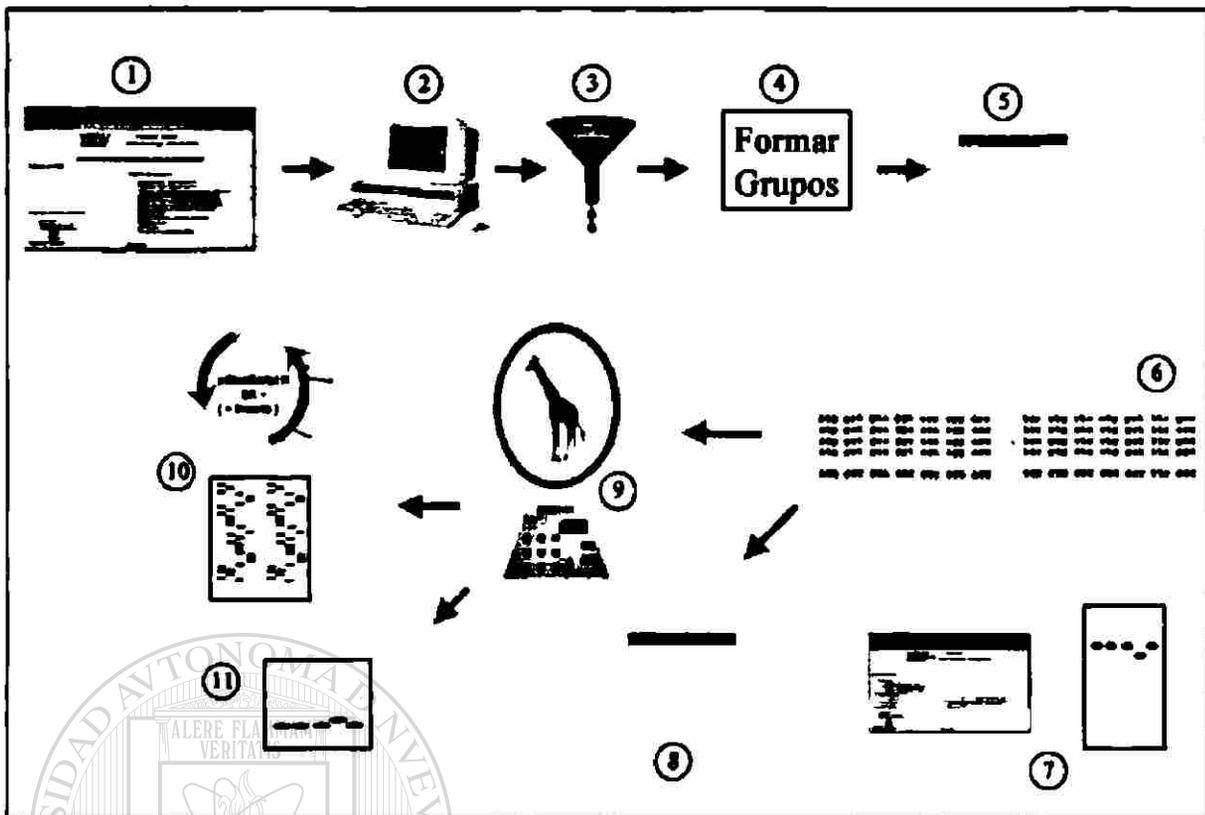


Figura 3.1 Estrategia General. Se ilustran los pasos seguidos en el trabajo y que son: 1) Obtención de las Secuencias. 2) Conversión y almacenamiento local. 3) Filtrado. 4) Agrupación. 5) Alineamiento por grupos. 6) Diseño de iniciadores consenso y sonda(s). 7) Comprobación teórica-virtual y/o práctica de la(s) sonda(s). 8) Comprobación teórica-virtual de los iniciadores. 9) Amplificación de la GH de jirafa usando iniciadores de Artiodáctilos. 10) y 11) Comprobación del producto amplificado por clonación y secuenciación y/o por hibridación con sonda conocida.

Es conocido que existen versiones diferentes de la hormona y, además, variaciones al nombrarlas teniendo nombres como "growth hormone a", "b", "c", "1", "2", "i", "ii", algunos otros como "growth hormone precursor", "pregrowth hormone" y combinaciones. Para resolver esto, primero se obtuvieron todas las variaciones en cada uno de los dos términos usando el valor "List Terms" en la opción "Mode" en la misma página. Los términos usados fueron los siguientes:

growth hormone  
 growth hormone 12  
 growth hormone 9d  
 growth hormone alt  
 growth hormone factor i  
 growth hormone gh precursor  
 growth hormone ii  
 growth hormone precursor aa  
 17 to  
 growth hormone precursor aa  
 25 to 191  
 growth hormone prohormone  
 growth hormone wt  
  
 somatotropin  
 somatotropin 2 splice frame 2  
 precursor

growth hormone 1  
 growth hormone 2  
 growth hormone a  
 growth hormone b  
 growth hormone gh 1  
 growth hormone i  
 growth hormone ii precursor  
 growth hormone precursor aa  
 17 to 187  
 growth hormone precursor aa  
 28 to 190  
 growth hormone type 2  
 growth prehormone aa 12 to  
 173  
 somatotropin 1 precursor  
 somatotropin 20k

growth hormone 1 precursor  
 growth hormone 2 precursor  
 growth hormone aa 1 217  
 growth hormone c variant  
 growth hormone gh 2  
 growth hormone i precursor  
 growth hormone precursor  
 growth hormone precursor aa  
 23 to 188  
 growth hormone prepeptide  
  
 growth hormone variant  
 pregrowth hormone  
  
 somatotropin 2 precursor  
 somatotropin 22k

somatotropin a  
 somatotropin i  
 somatotropin ii precursor  
 somatotropin, variant

somatotropin alpha chain  
 somatotropin i precursor  
 somatotropin precursor i

somatotropin b  
 somatotropin ii  
 somatotropin precursor ii

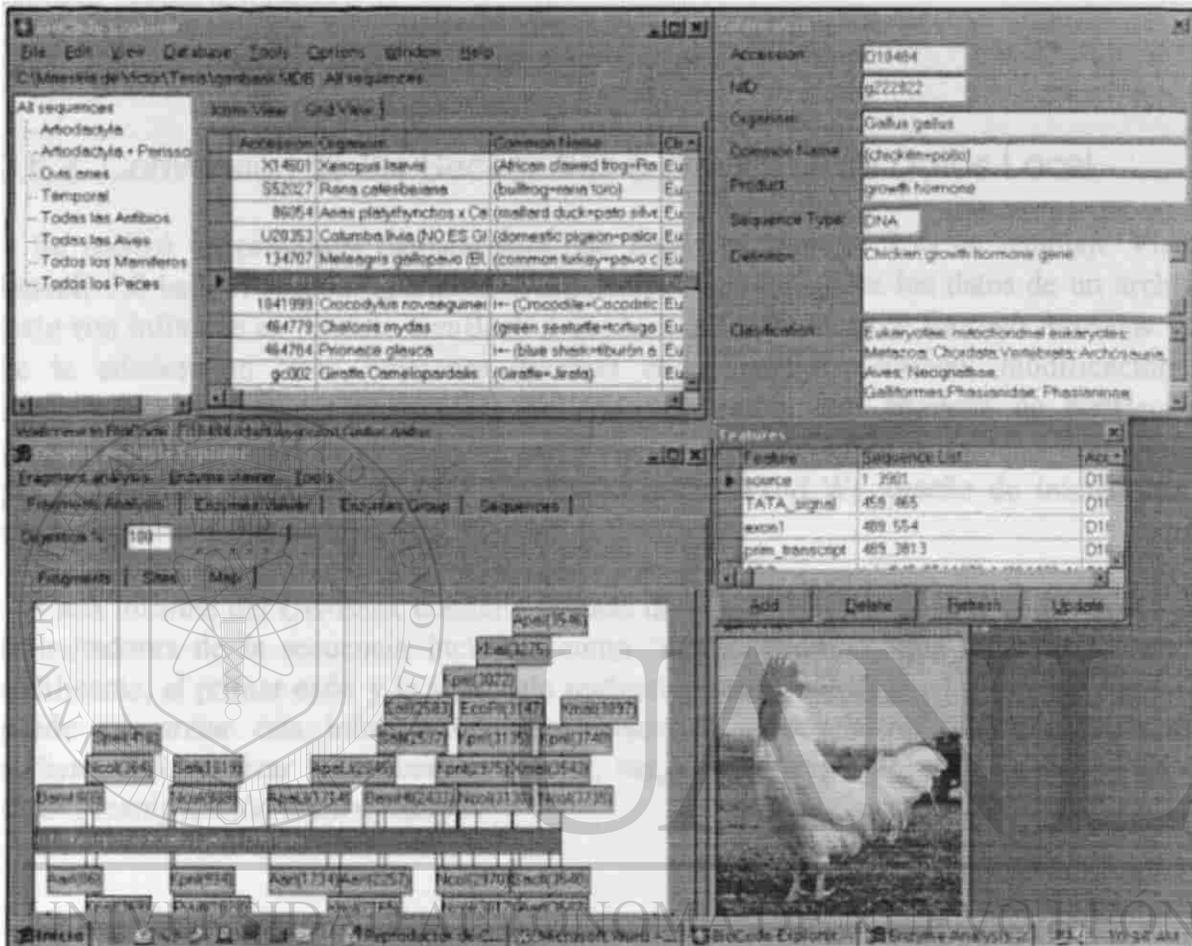


Figura 3.2 Vista de *BioCode Explorer*. Se muestra información de la secuencia seleccionada y un mapa de restricción.

Por lo tanto, la consulta definitiva fue:

```

((((((((((((((((((((((((((((((((((((("growth hormone"[Protein Name] OR "growth
hormone 1"[Protein Name]) OR "growth hormone 1 precursor"[Protein Name]) OR
"growth hormone 12"[Protein Name]) OR "growth hormone 2"[Protein Name]) OR
"growth hormone 2 precursor"[Protein Name]) OR "growth hormone 9d"[Protein Name])
OR "growth hormone a"[Protein Name]) OR "growth hormone aa 1 217"[Protein Name])
OR "growth hormone alt"[Protein Name]) OR "growth hormone b"[Protein Name]) OR
"growth hormone c variant"[Protein Name]) OR "growth hormone factor i"[Protein
Name]) OR "growth hormone gh 1"[Protein Name]) OR "growth hormone gh 2"[Protein
Name]) OR "growth hormone gh precursor"[Protein Name]) OR "growth hormone
i"[Protein Name]) OR "growth hormone i precursor"[Protein Name]) OR "growth
hormone ii"[Protein Name]) OR "growth hormone ii precursor"[Protein Name]) OR
"growth hormone precursor"[Protein Name]) OR "growth hormone precursor aa 17
to"[Protein Name]) OR "growth hormone precursor aa 17 to 187"[Protein Name]) OR
"growth hormone precursor aa 23 to 188"[Protein Name]) OR "growth hormone
precursor aa 25 to 191"[Protein Name]) OR "growth hormone precursor aa 26 to
190"[Protein Name]) OR "growth hormone prepeptide"[Protein Name]) OR "growth
hormone prohormone"[Protein Name]) OR "growth hormone type 2"[Protein Name]) OR
"growth hormone variant"[Protein Name]) OR "growth hormone wt"[Protein Name]) OR
("growth prehormone aa 12 to 173"[Protein Name] OR "somatotropin"[Protein Name])
    
```

```
OR (((((((((((("somatotropin 1 precursor"[Protein Name] OR "somatotropin 2 precursor"[Protein Name]) OR "somatotropin 2 splice form 2 precursor"[Protein Name]) OR "somatotropin 20k"[Protein Name]) OR "somatotropin 22k"[Protein Name]) OR "somatotropin a"[Protein Name]) OR "somatotropin alpha chain"[Protein Name]) OR "somatotropin b"[Protein Name]) OR "somatotropin i"[Protein Name]) OR "somatotropin i precursor"[Protein Name]) OR "somatotropin ii"[Protein Name]) OR "somatotropin ii precursor"[Protein Name]) OR "somatotropin precursor i"[Protein Name]) OR "somatotropin precursor ii"[Protein Name]) OR "somatotropin, variant"[Protein Name]))
```

### 3.6.2 Conversión de las Secuencias a una Base de Datos Local

Se realizó un programa llamado *BioCode Explorer* (Figura 3.2) en lenguaje Visual Basic® 5.0 bajo el sistema operativo Windows®95 que transfiere los datos de un archivo texto con informes en formato GenBank a una base de datos local en formato Access® 1.1. Se le adicionaron otras funciones diversas como edición (adición, modificación y eliminación) de secuencias, análisis de codones, cortes con enzimas de restricción, visualización del mapa de restricción, extracción y exportación de secuencias delimitadas por marcadores, alineamiento (por ligación con CLUSTALW), diseño de iniciadores y sondas consenso, entre otros.

Cada informe del GenBank contiene además de la información general de la secuencia, delimitadores de la secuencia incluida, como "cds", "exon1", "tata\_signal" (secuencia codificante, el primer exón y la señal tata respectivamente, entre otros). *BioCode Explorer* puede interpretar esta información para extraer la secuencia referida y manipularla, pudiendo así, analizar las secuencias (cortar, ver, alinear, exportar, etc.) sin necesidad de alguna manipulación extra o manual.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

### 3.6.3 Selección de la Mejor Secuencia de Cada Especie

Con *BioCode Explorer* se ordenaron las secuencias por especie (organismo). Se activaron las "ventanas" de información acerca de las secuencias. En cada especie, se seleccionaron aquellos informes obsoletos o incompletos y se eliminaron activando la opción "delete sequences". Éste proceso se repitió hasta tener una sola secuencia de cada especie.

### 3.6.4 Agrupación de las Secuencias

Usando *BioCode Explorer* se ordenaron las secuencias en base a la clasificación y se exportaron usando la opción "Export Information" y se analizaron en *Excel*. El nivel de la clasificación para la agrupación fue variable según el número de secuencias "cercanas" reportadas. Se efectuó una segunda agrupación por clases. Las clases fueron: Peces, Anfibios, Reptiles, Aves, Mamíferos y Marsupiales.

### 3.6.5 Alineamiento de las Secuencias

Se construyó una matriz de alineamiento (% similitud) de todas las secuencias utilizando *BioCode Explorer* para ordenar por clasificación y para extraer las secuencias aminoacídicas y *CLUSTALW* para calcular el porcentaje de similitud. Cada par de secuencias fue usado como entrada para *CLUSTALW*. Los resultados fueron graficados utilizando *Excel*.

## 3.7 Diseño de la Sonda “consenso” para las GH

### 3.7.1 Selección de la Región Conservada como Sonda

Para buscar los posibles oligonucleótidos, primero se elaboró un programa (en lenguaje C++) que suma el número total de secuencias en que *aparee totalmente* un oligonucleótido y se ejecutó con todos los posibles oligonucleótidos de 16 bases de longitud derivados de las todas secuencias codificantes; posteriormente se elaboró otro programa (*MaxProbe*) que calcula el consenso de un oligonucleótido computando el mejor *alineamiento* con cada una de las secuencias y se ejecutó con todos los posibles oligonucleótidos de 16 y 32 bases de longitud de las todas secuencias codificantes. Los resultados de ambos programas se compararon con oligonucleótidos de 16 bases de longitud. El alineamiento utilizado en *MaxProbe* se consiguió utilizando el algoritmo de selección de la mejor diagonal (White, 1984) sin considerar inserciones ni deleciones (sin “gaps”). No se calcularon aquellos oligonucleótidos que formaran parte de dos exones siempre y cuando ésta información estuviera disponible en el informe original. Para seleccionar el mejor oligonucleótido entre “los mejores”, se diseñó una función ( $f_{sonda}$  descrita en el capítulo 4) que considera: a) Alineamiento, b) Apareamiento en los extremos, c) Energías intramoleculares e intermoleculares, d) Temperatura de fusión media, y, adicionalmente consideramos un parámetro al que denominamos “*encadenamiento*”, que está en función del número máximo de nucleótidos consecutivos que aparean con el oligonucleótido en cuestión. Para determinar el peso aproximado de cada parámetro, se ejecutó el programa variando en cada ejecución un solo parámetro hasta obtener resultados satisfactorios. Para determinar los oligonucleótidos que podrían ser “los mejores”, antes de evaluarlos con  $f_{sonda}$ , se formaron dos grupos. El primer grupo se ordenó por apareamiento promedio y el segundo por apareamiento promedio menos dos desviaciones estándar; se analizaron con  $f_{sonda}$  solo el 5% de los más altos de cada grupo. Para determinar la suficiencia del 5%, se ordenaron todos los valores de apareamiento promedio y apareamiento promedio menos dos desviaciones estándar, se determinó el punto de inflexión del crecimiento de la curva resultante y se elaboró un gráfico para mostrar los resultados.

### 3.7.2 Aumento del Desempeño de la Sonda

Para ampliar la longitud de la sonda, a la secuencia obtenida se le agregaron nucleótidos consenso en su respectiva posición en cada extremo hasta que la evaluación ( $f_{sonda}$ ) fuera menor que la inmediata anterior o rebasara el límite de 50 nucleótidos. También se eliminaron nucleótidos en los extremos mientras la evaluación fuera mayor que la inmediata anterior. Esto con el fin de corregir si al extender un extremo, pueda resultar mejor que se recorte el otro y viceversa, dado que la asignación inicial esta basada únicamente en alineamiento sin tomar en cuenta los demás parámetros.

Idealmente se deseaba que la sonda apareara en iguales circunstancias (de temperatura, apareamiento y energías) a todas las secuencias con el fin de homogeneizar los experimentos. Dado que las secuencias no son exactamente iguales, en general no es posible obtener una sonda con los mismos parámetros para todas las secuencias blanco; entonces, para minimizar la desviación de los parámetros, se diseñó un algoritmo para que funcione de la siguiente manera:

Considerando  $Nt(a,b) = 1$  si el nucleótido  $a$  es igual al nucleótido  $b$  y  $Nt(a,b) = 0$  en caso contrario;  $Seq(c,m,d) = 1$  si el nucleótido  $m$  de la secuencia  $c$  es igual al nucleótido  $d$ ,  $Seq(c,m,d) = 0$  en caso contrario; y  $^k S$  como el nucleótido en la posición  $k$  de la secuencia  $S$ ...

- 1) Para cada secuencia  $i$  se calcula el número de nucleótidos que aparean con el oligonucleótido en cuestión ( $\#ap_i = \sum Nt(^k Sec_i, ^k Oligo)$ ).
- 2) Para cada posición  $j$  en el oligonucleótido y para cada uno de los nucleótidos se calcula el número de secuencias que tienen en la posición  $j$  ese nucleótido ( $\#Sa_j = \sum Seq(^j Sec_i, A)$ ,  $\#Sg_j = \sum Seq(^j Sec_i, G)$ ,  $\#Sc_j = \sum Seq(^j Sec_i, C)$ ,  $\#St_j = \sum Seq(^j Sec_i, T)$ ) y se calcula  $\#Sx_j = \sum Seq(^j Sec_i, Oligo_j)$  como el número de secuencias que tienen el mismo nucleótido que el oligonucleótido en cada posición  $j$ .
- 3) Se calcula  $G_{y(a,g,c,i)} = \#ap_i / \#S_{(a,g,c,i)} - \#ap_i / \#S_{x_j}$  que representa la "ganancia" de cambiar la posición  $j$  por algún nucleótido.
- 4) Si para alguna  $G_{y(a,g,c,i)}$  hay un valor positivo, se hace el cambio en el oligonucleótido en la posición  $j$  por el nuevo nucleótido. Se evalúa el nuevo oligonucleótido  $O_{y(a,g,c,i)} = f_{sonda}$ . Se vuelve a ejecutar el algoritmo desde el paso 1 tomando como entrada el nuevo oligonucleótido (solo hasta un nivel de recursividad<sup>†</sup> de 3, o sea, solo se pueden cambiar 3 nucleótidos en cada oligonucleótido).
- 5) De todos los valores  $O_{y(a,g,c,i)}$  calculados se toma el mayor siempre y cuando rebase el valor de  $f_{sonda}$  del oligonucleótido original.

<sup>†</sup> En computación, "recursividad" se conoce como un proceso que puede necesitar usar su mismo proceso y que usa una condición de salida para evitar quedarse en un ciclo infinito.

### 3.7.3 Ajustes Manuales de la Sonda

Una vez escogida una secuencia y usando el programa diseñado, se extendió la secuencia en el extremo 3' para incrementar el desempeño en animales superiores. Además, se introdujo en una posición una degeneración de 2 nucleótidos para incrementar el desempeño exclusivamente en primates, sin afectar a las demás especies.

## 3.8 Comprobación de la Sonda (*GH-Explorer I*)

### 3.8.1 Comprobación Teórico – Virtual de la Sonda

En la página de Internet de BLAST 2.0.5 (Altschul, 1997) [www.ncbi.nlm.nih.gov/cgi-bin/BLAST/mph-newblast?iform=1](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/cgi-bin/BLAST/mph-newblast?iform=1) se introdujo en el cuadro de opciones <-W 8> y en el cuadro de consulta se introdujo la secuencia:

**gcctgcttcargaggacatgcacaaggtggagacctacctgagggtcatgaagtg**

### 3.8.2 Comprobación Práctica – Experimental de la Sonda

Se hicieron dos ensayos de hibridación para probar el desempeño de la sonda *GH-Explorer I*. El primer ensayo fue una hibridación tipo slot-blot en membrana de nylon con dispositivo a vacío (Ausubel et. al. 1992) usando en su mayoría 8µg de DNA genómico de varias especies (Tabla 3.1). Las especies a probar en estos ensayos fueron escogidas procurando abarcar a todos los vertebrados, seleccionando especies representativas de cada clase. La temperatura de prehibridación, hibridación y último lavado fueron 42°C, 48°C y 50°C respectivamente. Las concentraciones de sales no fueron cambiadas con respecto del protocolo original. A la solución de prehibridación del protocolo original se omitió el DNA de esperma de Salmón (ya que hibridaría con la *GH-Explorer I*). Se omitieron el paso de la membrana al filtro húmedo con solución de desnaturalización y el paso de la membrana al filtro húmedo con solución de neutralización (Sambrook et. al. 1989). La sonda fue marcada inmediatamente antes de hacer la incubación para hibridación. La exposición fue hecha en película ultrasensible con pantalla amplificadora durante 20h. Se hizo un segundo ensayo para probar la sensibilidad (Tabla 3.2). Se siguió el mismo protocolo propuesto por Ausubel et. al.; esta vez solo se omitió el DNA de esperma de Salmón en la solución de prehibridación. Se usó la misma solución de hibridación que en el ensayo anterior cuya radiactividad tenía una vida media transcurrida. La exposición fue de 72h. Ambas películas fueron sometidas a análisis densitométrico, integrándose únicamente la curva de cada banda. Para calcular la fuerza relativa de apareamiento de *GH-Explorer I* con los diferentes DNAs; se utilizaron las áreas de la titulación de DNAs de gallo para calcular una curva de calibración lineal, transformándose a logaritmos tanto la concentración de DNAs relativa a 8µg de DNAs de gallo como el área densitométrica de las muestras; con el área de todas las demás muestras se calculó un aproximado de la fracción de 8µg de DNAs de gallo que

equivaldrían a hibridar y dar una señal densitométrica aproximadamente igual; la fracción se dividió por el número de genomas relativos a gallo según la especie. Los tamaños de los genomas (Tabla 3.3) fueron extraídos de la página de Internet [www.cbs.dtu.dk/databases/DOGS/index.html](http://www.cbs.dtu.dk/databases/DOGS/index.html).

Todos los ensayos involucraron el marcaje radiactivo de la misma. La reacción para el marcaje se llevó a cabo con un volumen final de 10µL con 10U de T4 Polynucleotide Kinase, 20µCi de  $\gamma$ -ATP (6000Ci/mmol), 20pmoles *GH-Explorer I* y 1x del amortiguador apropiado.

**Tabla 3.1 DNA de especies ensayadas en hibridación con la sonda *GH-Explorer I*.**

DNA*	Pes	DNA*	Pes	DNA*	Pes	DNA*	Pes	DNA*	Pes
Humano	A1	Gallo	B1	Tilapia	C1	PBSjcGH-J5 (12ng)	D1	Gallo (800ng)	E1
Gato	A2	Avestruz	B2	Ameca (7.5µg)	C2	" (1.2ng)	D2	Gallo (80ng)	E2
Vaca	A3	Tortuga	B3	Catán	C3	" (120pg)	D3		
Jirafa	A4	Víbora	B4	Tiburón	C4	" (12pg)	D4		
Cerdo	A5	Gecko (7.5µg)	B5	Guppy (3µg)	C5	" (1.2pg)	D5		
Ratón	A6	Carpa	B6	C(-) PBR322	C6	" (0.12pg)	D6		

\*Todas las muestras con 8µg de DNA, excepto donde se indica.

**Tabla 3.2 Muestras de DNA usadas en el ensayo de sensibilidad en hibridación con la sonda *GH-Explorer I*.**

Columna	Línea A	DNA	Línea B	DNAg	Línea C	DNA	Línea D	DNA
1	pBSjcGH-J1-Eco RI	3.2ng	Gallo	8µg	PSVhpl1-EcoRI	3.2ng	C(-) λ	2 µg
2	PBSjcGH-J1-Eco RI	320pg	Gallo	800ng	PSVhpl1-EcoRI	320pg	C(-) λ	200ng
3	PBSjcGH-J1-Eco RI	32pg	Gallo	80ng	PSVhpl1-EcoRI	32pg	C(-) λ	20ng
4	PBSjcGH-J1-Eco RI	3.2pg	Gallo	8ng	PSVhpl1-EcoRI	3.2pg	C(-) λ	2ng
5	pBSjcGH-J1-Eco RI	320fg			PSVhpl1-EcoRI	320fg	C(-) λ	200pg
6	pBSjcGH-J1-Eco RI	32fg			pSVhpl1-EcoRI	32fg	C(-) λ	20pg

Tabla 3.3 Tamaños de los genomas usados para normalizar las señales de hibridación.

Especie Incluida en Ensayo		Especie Fuente	Tamaño Haploide del Genoma (Pares de bases)
Nombre Común	Nombre Científico	Nombre Científico	
Humano	<i>Homo sapiens</i>	<i>Homo sapiens</i>	3.40x10 <sup>9</sup>
Gato	<i>Felis catus</i>	<i>Canis familiaris</i> <sup>*</sup>	3.36x10 <sup>9</sup>
Vaca	<i>Bos taurus</i>	<i>Bos taurus</i>	3.65x10 <sup>9</sup>
Jirafa	<i>Giraffe camelopardalis</i>	<i>Bos taurus</i> <sup>*</sup>	3.65x10 <sup>9</sup>
Cerdo	<i>Sus scrofa</i>	<i>Sus scrofa</i>	3.11x10 <sup>9</sup>
Ratón	<i>Mus musculus</i>	<i>Mus musculus</i>	3.45x10 <sup>9</sup>
Gallo	<i>Gallus gallus</i>	<i>Gallus gallus</i>	1.20x10 <sup>9</sup>
Avestruz	<i>Struthio camelus</i>	<i>Gallus gallus</i> <sup>*</sup>	1.20x10 <sup>9</sup>
Tortuga	<i>Trichemys scripta</i>	<i>Caiman crocodylus</i> <sup>*</sup>	2.60x10 <sup>9</sup>
Víbora	<i>Crotalus atrox</i>	<i>Boa constrictor</i> <sup>*</sup>	2.10x10 <sup>9</sup>
Gecko	<i>Hemidactylos turcicus</i>	<i>Caiman crocodylus</i> <sup>*</sup>	2.60x10 <sup>9</sup>
Carpa	<i>Cyprinus carpio</i>	<i>Cyprinus carpio</i>	1.70x10 <sup>8</sup>
Tilapia	<i>Tilapia sp.</i>	<i>Cyprinus carpio</i> <sup>*</sup>	1.70x10 <sup>8</sup>
Ameca		<i>Cyprinus carpio</i> <sup>*</sup>	
Catán	<i>Lepisosteus osseus</i>		1.70x10 <sup>9</sup>
Tiburón <sup>†</sup>	<i>Squalus sp.</i>	<i>Carcarias obscurus</i>	2.70x10 <sup>9</sup>
Guppy	<i>Poecilia reticulata</i>	<i>Cyprinus carpio</i> <sup>*</sup>	1.70x10 <sup>8</sup>

\* Especie cercana cuyo tamaño del genoma el está disponible. <sup>†</sup> Cazón "dogfish".

### 3.9 Diseño de Iniciadores para PCR

El diseño de iniciadores para PCR se cubrió en dos etapas. La primera, en artiodáctilos, se usó el programa CLUSTALW para hacer los alineamientos, manualmente se detectaron dos zonas conservadas, se utilizó OLIGO para diseñar el par de oligonucleótidos y se verificó su desempeño usando el programa Amplify. En la segunda etapa, que incluye todas las especies, se diseñó un programa, *MaxPrimer* que usa la misma metodología utilizada en *MaxProbe* para buscar las regiones consenso dentro de las secuencias y se hicieron modificaciones en la evaluación para considerar los parámetros propios del proceso de PCR como iniciabilidad<sup>†</sup>. Se utilizó *BioCode Explorer* para extraer cuando mucho 500pb de la región 5' justo antes del codón de inicio y 1000pb de la región 3' justo después del codón de terminación de cada secuencia. Se eliminaron las secuencias de longitud menor a 22pb. Se ejecutó *MaxPrimer* con el juego de secuencias 5' y con el juego de secuencias 3'. Se comprobó el desempeño de los iniciadores de 22nt reportados por *MaxPrimer* en *Amplify*. Se comprobó la especificidad de los oligonucleótidos haciendo búsqueda en *GenBank* usando *BLAST*.

<sup>†</sup> Se usó "iniciabilidad" como la capacidad de potenciar la iniciación de polimerización y traduciendo del inglés "primability".

### 3.10 Comprobación del Juego de Oligonucleótidos Diseñados para Artiodáctilos

#### 3.10.1 Amplificación del Gen de la GH a partir del DNAG de Artiodáctilos

Se hicieron ensayos de PCR usando el juego para amplificar la GH de cabra, vaca, oveja, jirafa, búfalo americano, cerdo y cebrá usando DNAG como templado. El DNAG de cabra, vaca y cerdo se obtuvieron a partir de sangre periférica usando la técnica de TSNT. El DNAG de búfalo americano, oveja y cebrá se obtuvieron de un stock de nuestro laboratorio. La integridad de los DNAG usados se probó en gel de agarosa. Las condiciones y concentraciones de los reactivos fueron las siguientes:

Tabla 3.4 Condiciones y pasos seguidos en los ensayos de PCR.

Reactivo	Concentración	Paso	Tiempo @ Temp
DNAG	75ng	1) Desnaturalización Inicial	3min a 94.0°C
MgCl <sub>2</sub>	1.5mM	2) Desnaturalización	1min a 94.0°C
dNTP's	0.2mM	3) Apareamiento	1min a 58°C~59.5°C
pArt5'-140	0.5µM	4) Extensión	1min a 72.0°C
pArt3'-139	0.5µM	30 veces: Pasos 2~4	
Amortiguador	1.0x	5) Extensión Final	10min a 72.0°C
Taq Polimerasa	1.25U		
H <sub>2</sub> O	c.b.p. 25µL		

Se hicieron ensayos con temperaturas de apareamiento de 58°C y 59.5°C. En las especies de difícil amplificación se hicieron reacciones adicionales titulando MgCl<sub>2</sub> y variando temperaturas. Los amplicones se observaron en geles de agarosa al 0.8% usando generalmente 7µL de la reacción. La electroforesis se efectuó a temperatura ambiente y a 5V/cm, el amortiguador de corrida fue TBE 0.5x (1x: 89mM Tris base, 89mM ácido bórico y 2mM EDTA) y los geles fueron preparados con TBE 1x.

#### 3.10.2 Comprobación de los Amplicones

Para comprobar que los productos amplificados corresponden a GH, se hizo un ensayo de hibridación en gel (Lueders, 1994)<sup>24</sup> de los productos de PCR con una sonda marcada con dATP- $\alpha$ <sup>32</sup>P y Taq Polimerasa extraída de una región codificante de 494pb de la hormona del crecimiento Bovina clonada en el plásmido pPic9kbGH cuyo fragmento es liberado cortando con la endonucleasa PvuII. 60ng del fragmento se purificaron con fibra de vidrio y 25ng con Elutrap (Schleicher & Schuell, Inc). El fragmento fue marcado usando una variación de la técnica de Vector T: 85ng del fragmento de 494pb, 1x de amortiguador

Taq DNA polimerasa, 3.3µM (10µCi) de  $[\alpha\text{-}^{32}\text{P}]\text{dATP}$ , 2.5mM de  $\text{MgCl}_2$ , 2.5U Taq DNA polimerasa en 50µL de reacción y 1 gota de aceite mineral e incubando 2h a 72°C.

### 3.10.3 Clonación del Amplicón de jirafa y Análisis de las Clonas Recombinantes

El producto amplificado obtenido de jirafa se clonó en pBS-SK(+) utilizando la técnica de Vector T (Harrison, 1994) como se muestra en la Figura 3.3. El plásmido pBS-SK(+) se linearizó utilizando la endonucleasa *EcoRV* para producir extremos romos. La reacción para generar el Vector T fue: 2µg de plásmido, 1x amortiguador Taq DNA polimerasa, 1mM dTTP, 3mM  $\text{MgCl}_2$ , 3U de Taq DNA polimerasa y 1 gota de aceite mineral e incubando la reacción 2h a 72°C. La reacción de ligación fue: 150ng de Vector T recién preparado, 1x de amortiguador T4 DNA ligasa, 90ng de producto de PCR y 0.75U de T4 DNA ligasa incubando toda la noche a 16°C. Toda la reacción fue utilizada para la transformación de células *XLI-Blue* calcio - competentes. Tres clonas se caracterizaron utilizando las enzimas de restricción *NciI*, *PvuII*, *PstI*, *SacI*, *EcoRI* y *XhoI*.

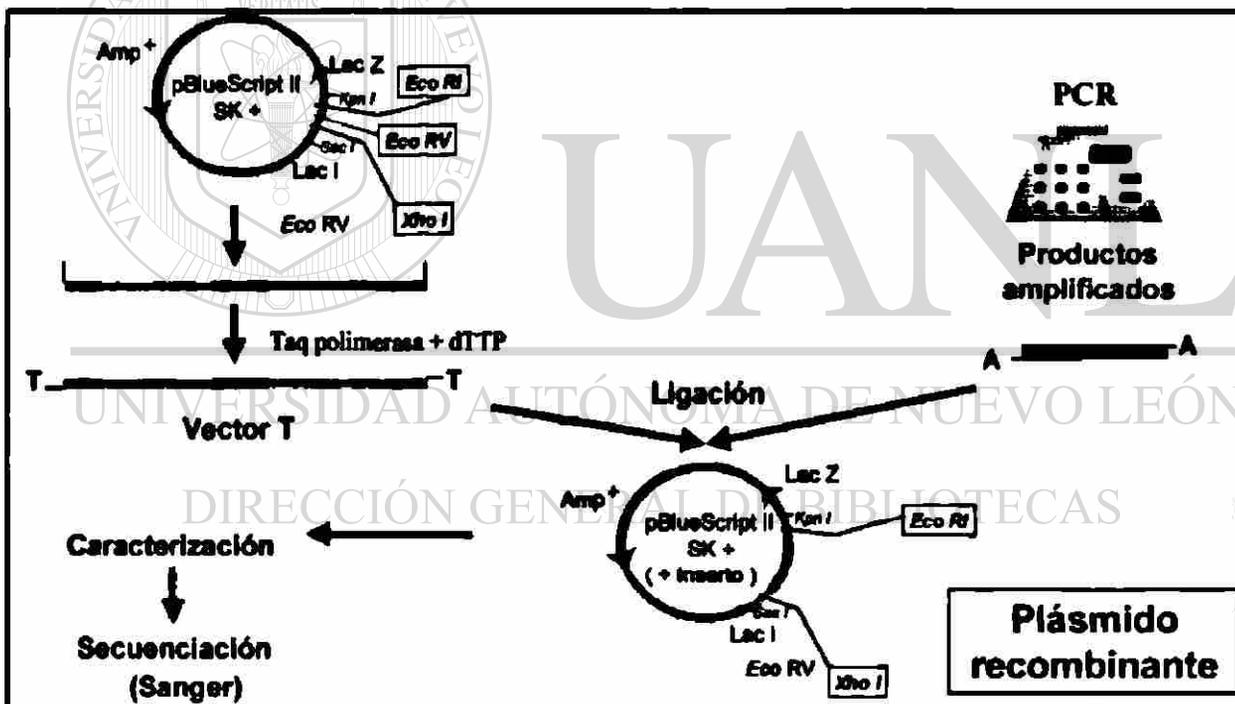
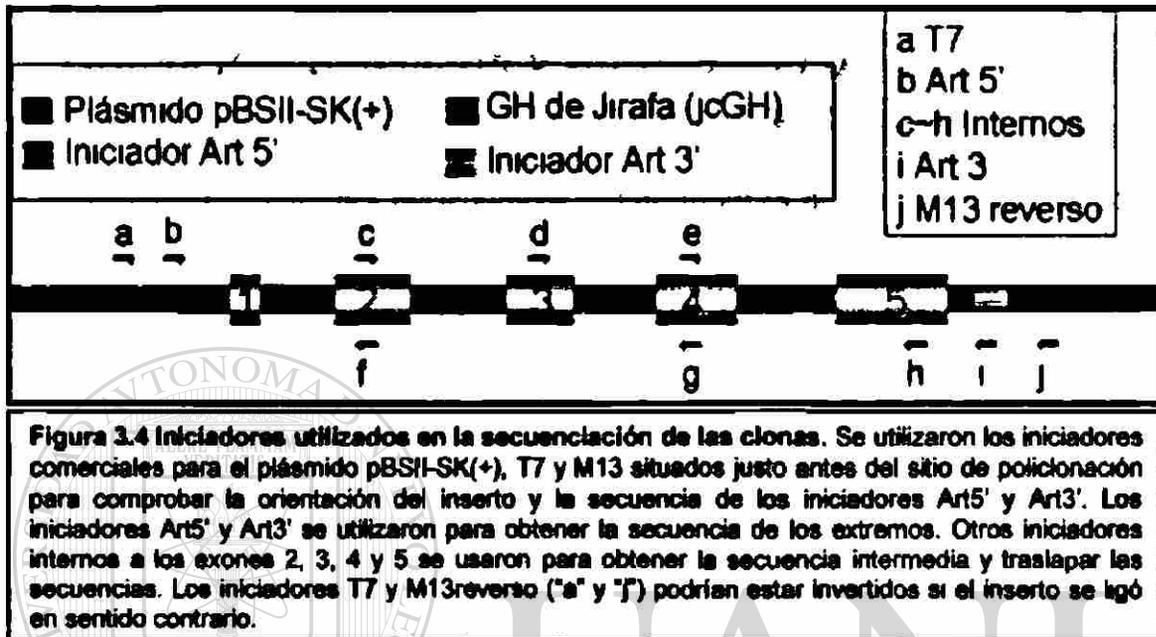


Figura 3.3 Estrategia de Clonación del amplicón. El plásmido pBSII-SK+ es linearizado con *EcoRV* al que se le adicional dT a los extremos 3', por su parte los amplicones ya cuentan con una dA en sus extremos 3'. Los extremos de cada fragmento son complementarios unos con otros favoreciendo la reacción de ligación. El plásmido recombinante obtenido es usado para transformar bacterias calcio competentes para su propegación. El plásmido aislado y multiplicado es utilizado como templado para caracterizarlo y secuenciarlo.

### 3.10.4 Secuenciación de las Clonas Recombinantes de Jirafa

Tres clonas fueron sometidas a secuenciación cíclica utilizando un conjunto de iniciadores como se muestra en la Figura 3.4. Se utilizaron, además de los iniciadores de artiodáctilos, Art5' y Art3' y de los iniciadores comerciales T7 y M13 reverso para pBSII-SK(+), 6 iniciadores adicionales que ya se encontraban disponibles en nuestro laboratorio.



### 3.11 Extracción y Semicuantificación del DNA Genómico

Se utilizó la técnica TSNT para hacer la extracción de DNAG de sangre periférica de vaca, cerdo y cabra. Se usó un stock de nuestro laboratorio de DNAG de placenta humana extraída usando la técnica de Gross-Bellard (Ausubel et. al. 1992), esta misma técnica se utilizó para hacer la extracción de DNAG de sangre de gallo, avestruz, tortuga y serpiente aumentando 3 veces el volumen final sin cambiar la concentración de Proteinasa K. Se usó la técnica de Goelz (Goelz, et. al. 1985) para extraer DNAG de hígado de gato, ratón y lagartija; de músculo de carpa, tilapia, ameca y catán; de aleta de tiburón y de placenta de jirafa. La integridad de los DNAG fue verificada en un gel de agarosa al 0.8%. La semicuantificación fue realizada integrando el área densitométrica de un estándar de DNAG de humano y aproximando proporcionalmente con el área densitométrica de los demás DNA, utilizando el paquete *Molecular Analyst*.

## Capítulo 4

### Resultados

#### 4.1 Obtención, Selección y Agrupación de las Secuencias Nucleotídicas y Aminoacídicas

Se obtuvieron 173 informes nucleotídicos y 330 informes de aminoacídicos en formato GenBank, el informe condensado se muestra en los Anexo 1 y 2.

Tabla 4.1 Especies ordenadas por clasificación.

Accession	Sec	Organismo	Grupo	Accession	Sec	Organismo	Grupo
478615	AA	<i>Acipenser gueldenstaedti</i>	Peces	1174395	AA	<i>Esch lucius</i>	Peces
873969	ARN	<i>Amia calva</i>	Peces	X77245	DNAG	<i>Coregonus autumnalis</i>	Peces
882520	ARN	<i>Lepisosteus osseus</i>	Peces	L04688	DNAG	<i>Oncorhynchus keta</i>	Peces
M24066	ARN	<i>Anguilla japonica</i>	Peces	M24768	ARN	<i>Oncorhynchus kisutch</i>	Peces
U63805	DNAG	<i>Poecilia reticulata</i>	Peces	850867	ARN	<i>Oncorhynchus tshawytscha</i>	Peces
U63804	DNAG	<i>Colisa lalia</i>	Peces	Y07741	DNAG	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	Peces
482753	AA	<i>Tilapia mossambica</i>	Peces	X61938	DNAG	<i>Salmo salar</i>	Peces
D50368		<i>Seriola quinqueradiata</i>	Peces	AB001865	DNAG	<i>Coregonus lavaretus</i>	Peces
878253	ARN	<i>Norona saxatilis</i>	Peces	464784	AA	<i>Prionace glauca</i>	Peces
X55176	DNAG	<i>Caranx delicatissimus</i>	Peces	X14601	DNAG	<i>Xenopus laevis</i>	Anfibios
L43628	ARN	<i>Seriola dumerilii</i>	Peces	X14602	DNAG	<i>Xenopus laevis</i>	Anfibios
M35627	ARN	<i>Seriola quinqueradiata</i>	Peces	852027	ARN	<i>Rana catesbeiana</i>	Anfibios
U16816	DNAG	<i>Lates calcarifer</i>	Peces	1041999	AA	<i>Crocodylus novaeguineae</i>	Reptiles
A08993	DNAG	<i>Tilapia sp.</i>	Peces	464779	AA	<i>Chelonia mydas</i>	Reptiles
M84774	DNAG	<i>Tilapia nilotica</i>	Peces	86054	AA	<i>Anas platyrhynchos</i>	Avs
X79002	DNAG	<i>Coryphaena hippurus</i>	Peces	134707	AA	<i>Meleagris gallopavo</i>	Aves
X65716	DNAG	<i>Dicentrarchus labrax</i>	Peces	D10484	DNAG	<i>Gallus gallus</i>	Aves
L43629	ARN	<i>Lateolabrax japonicus</i>	Peces	D00476	DNAG	<i>Capra hircus</i>	Mamíferos
X59377	DNAG	<i>Acanthopagrus butcheri</i>	Peces	M57764	DNAG	<i>Bos taurus</i>	Mamíferos
U48221	DNAG	<i>Sparus aurata</i>	Peces	X72947	DNAG	<i>Bubalus arnee bubalis</i>	Mamíferos
1083902	AA	<i>Acanthopagrus latus</i>	Peces	D16298	DNAG	<i>Capricornis crispus</i>	Mamíferos
134713	AA	<i>Chrysophrys major</i>	Peces	M37310	DNAG	<i>Ovis aries</i>	Mamíferos
85649	AA	<i>Euthynnus pelamis</i>	Peces	259870	AA	<i>Cervidae</i>	Mamíferos
88653	AA	<i>Thunnus albacares</i>	Peces	D16299	DNAG	<i>Cervus nippon</i>	Mamíferos
134721	AA	<i>Thunnus thynnus</i>	Peces	Y12578	DNAG	<i>Cervus elaphus</i>	Mamíferos
D29737	DNAG	<i>Paralichthys olivaceus</i>	Peces	M17704	DNAG	<i>Sus scrofa</i>	Mamíferos
482759	AA	<i>Hippoglossoides platessoides</i>	Peces	1070554	AA	<i>Lama pacos</i>	Mamíferos
103957	AA	<i>Pseudopleuronectes americanus</i>	Peces	E23067	ARN	<i>Canis familiaris</i>	Mamíferos
U01143	ARN	<i>Solea senegalensis</i>	Peces	134722	AA	<i>Vulpes vulpes</i>	Mamíferos
U89917	ARN	<i>Sebastes schlegelii</i>	Peces	89010	AA	<i>Alopex lagopus</i>	Mamíferos
L43627	ARN	<i>Sebasticus marmoratus</i>	Peces	U13390	ARN	<i>Feiia catus</i>	Mamíferos
U63803	DNAG	<i>Arothron maculatus</i>	Peces	X56120	ARN	<i>Mustela vison</i>	Mamíferos
D63807	DNAG	<i>Pogon rubripes</i>	Peces	284549	AA	<i>Balaenoptera borealis</i>	Mamíferos
Y09421	DNAG	<i>Alburnus alburnus</i>	Peces	E38127	DNAG	<i>Cryptolagus cuniculus</i>	Mamíferos
U28388	ARN	<i>Carassius auratus</i>	Peces	U02929	ARN	<i>Equus caballus</i>	Mamíferos
Z60419	DNAG	<i>Ctenopharyngodon idella</i>	Peces	U02293	DNAG	<i>Macaca mulatta</i>	Mamíferos
X51969	DNAG	<i>Cyprinus carpio</i>	Peces	M13438	DNAG	<i>Homo sapiens</i>	Mamíferos
U21920	DNAG	<i>Abramis brama</i>	Peces	134706	AA	<i>Loxodonta africana</i>	Mamíferos
M94348	DNAG	<i>Hypophthalmichthys molitrix</i>	Peces	320148	AA	<i>Cavia porcellus</i>	Mamíferos
X60473	DNAG	<i>Hypophthalmichthys nobilis</i>	Peces	866299	ARN	<i>Nesocricetus auratus</i>	Mamíferos
1836078	AA	<i>Clarias gariepinus</i>	Peces	Z46663	DNAG	<i>Mus musculus</i>	Mamíferos
869215	DNAG	<i>Ictalurus punctatus</i>	Peces	J00739	DNAG	<i>Rattus norvegicus</i>	Mamíferos
L27835	ARN	<i>Pangasianodon gigas</i>	Peces	264607	AA	<i>Macropus rufogriseus</i>	Mamíferos
M61713	ARN	<i>Pangasius pangasius</i>	Peces	AF052192		<i>Trurus</i>	Mamíferos
482758	AA	<i>Gadus morhua</i>	Peces				
483102	AA	<i>Gadus morhua</i>	Peces				

Las secuencias de cada especie que formaron parte de la base de datos final se encuentran resaltadas en el Anexo 1 y 2. Obtuvimos 90 secuencias correspondientes a 89 especies (Tabla 4.1).

El espacio físico de la base de datos es de alrededor de 5MB sin incluir las imágenes de los organismos. Al hacer el desglose (Tabla 4.2) por clases y sus subclases con más secuencias reportadas, se observa que algunas clases han sido estudiadas preferencialmente, 62% del total de secuencias reportadas son de peces, seguido por los mamíferos con 28% dejando únicamente el 10% a todas las demás clases de vertebrados. Vemos también que el 29% (26/89) de las especies no tiene una secuencia nucleotídica reportada, sin embargo, en mamíferos esta cifra sube a 47% (8/17).

Tabla 4.2 Total de secuencias por clase. Se detallan dos de las clases más estudiadas, peces y mamíferos.

#	Especies	Clase	Nt	%	aa	%	Tot Sec	%Tot Sec	#
55		Peces	41	65%	14	54%	55	62%	7 Salmoniformes
									5 Siluriformes
									7 Cypriniformes
									19 Perciformes
									4 Pleuriformes
2		Anfibios	3	5%	0	0%	3	3%	
2		Reptiles	0	0%	2	8%	2	2%	
3		Aves	1	2%	2	8%	3	3%	
26		Mamíferos	17	27%	8	31%	25	28%	10 Artiodactyla
									5 Carnivora
									2 Primates
									4 Rodentia
1		Marsupial	1	2%	0	0%	1	1%	
89		Total	63	100%	26	100%	89	100%	

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

## 4.2 Alineamiento de las Secuencias

En la Figura 4.1 se muestra un gráfico de la matriz de alineamiento aminoacídico (ordenado según Tabla 4.1) de todas las secuencias seleccionadas de las GH reportadas. Podemos apreciar que entre los peces, el parecido puede ir mayoritariamente desde 100% a 60% y solo entre unos pocos hasta de 40%; conforme hacemos la comparación en la dirección de los mamíferos, el parecido va disminuyendo llegando hasta aproximadamente 20%. *Xenopus Laevis*, un anfibio, se parece más a mamíferos que a peces. En mamíferos, la GH se aprecia más conservada.

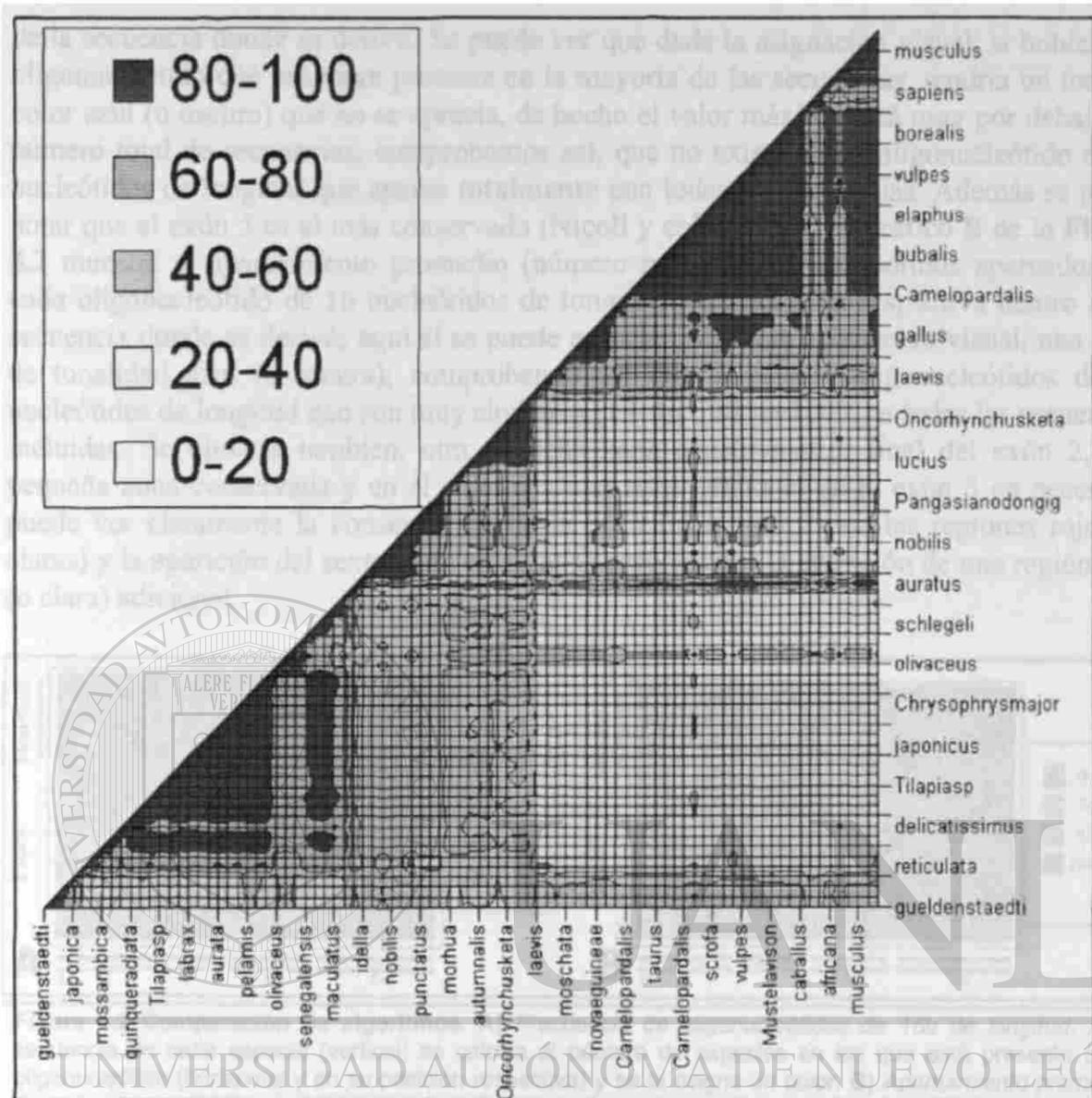


Figura 4.1 Matriz de alineamiento aminoacídico (% similitud). Todas las especies ordenadas por clasificación (se nombraron únicamente 1 de cada 3). En horizontal de izquierda a derecha peces, anfibios, reptiles, aves, mamíferos y marsupiales. De la misma manera en vertical de abajo hacia arriba.

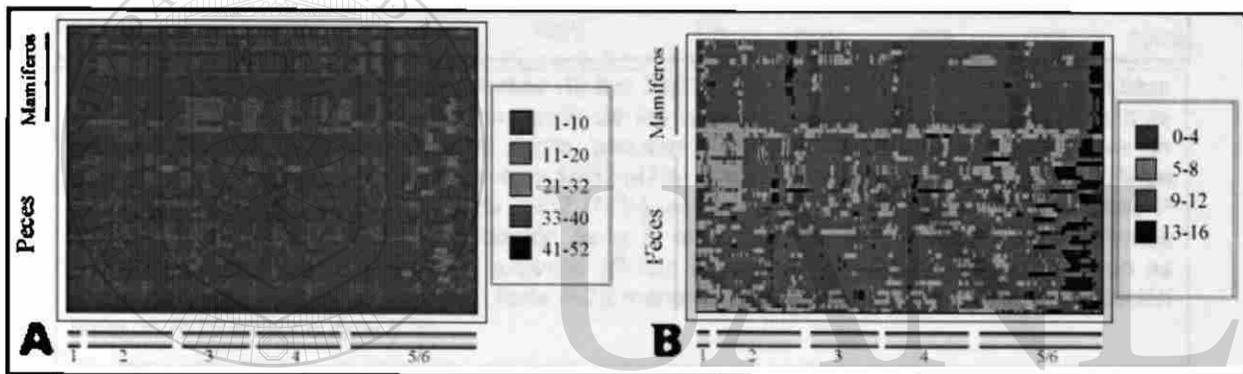
### 4.3 Selección de la Sonda

Dado que deseábamos obtener un oligonucleótido conservado en todas las especies, pensamos básicamente en dos estrategias de búsqueda y comparamos los resultados. Se utilizaron oligonucleótidos de 16 bases de longitud para efectos de la comparación y 32 bases de longitud como base para el diseño de la sonda.

#### 4.3.1 Comparación de Algoritmos

En el gráfico A de la Figura 4.2, se muestra el número de secuencias en que está presente cada oligonucleótido de 16 nucleótidos de longitud y su posición respectiva dentro

de la secuencia donde se derivó. Se puede ver que dada la asignación visual, si hubiese un oligonucleótido que estuviera presente en la mayoría de las secuencias, tendría un tono de color azul (u oscuro) que no se aprecia, de hecho el valor máximo está muy por debajo del número total de secuencias; comprobamos así, que no existe algún oligonucleótido de 16 nucleótidos de longitud que aparezca **totalmente** con todas las secuencias. Además se puede notar que el exón 5 es el más conservado (Nicoll y cols., 1986). El gráfico B de la Figura 4.2 muestra el apareamiento promedio (número promedio de nucleótidos apareados) de cada oligonucleótido de 16 nucleótidos de longitud y su posición respectiva dentro de la secuencia donde se derivó; aquí sí se puede apreciar, según la asignación visual, una zona de tonalidad azul (u oscura); comprobando así que sí existen oligonucleótidos de 16 nucleótidos de longitud que son muy similares (13~16 ó 81%~100%) a todas las secuencias incluidas. Se observa también, otra pequeña zona conservada al final del exón 2, una pequeña zona conservada y en el exón 4 y una zona adicional en el exón 5 en peces. Se puede ver claramente la conservación de la posición intrónica por las regiones rojas (o claras) y la aparición del sexto exón en algunas especies por la aparición de una región roja (o clara) adicional.



**Figura 4.2 Comparación de algoritmos. A) Frecuencia de oligonucleótidos de 16b de longitud.** A la secuencia de cada especie (vertical) se calcula el número de especies en las que está presente cada oligonucleótido (horizontal y en su posición respectiva) y se le asigna un color. **B) Apareamiento promedio de cada oligonucleótido de 16b de longitud.** De cada oligonucleótido (horizontal) de cada especie (vertical), se obtiene la suma de nucleótidos con los que tiene el mejor apareamiento en cada secuencia y se divide entre el número de especies (52). La posición aproximada de cada oligonucleótido con respecto a cada exón se muestra en la parte inferior. La asignación de colores se muestra a la derecha de cada gráfico. Las zonas rojas (o claras) indican la posición de los intrones debido a que no se hizo el cálculo y se usó 0 (solo en las secuencias donde sí se tenía tal información y en gráfico B).

#### 4.3.2 Determinación de la Población de Oligonucleótidos por Evaluar

La población total de oligonucleótidos de 32 bases de longitud fue de 28,038 para las 52 secuencias nucleotídicas completas de la GH. El evaluar toda la población resultaría de un esfuerzo inútil dado que las secuencias de bajo apareamiento lógicamente resultarían en una evaluación baja. Para determinar la fracción de la población por evaluar, se determinaron las frecuencias de los alineamientos promedio y alineamientos promedio menos dos desviaciones estándar redondeados al entero más cercano y se analizaron los resultados gráficamente. Se puede ver en la curva A de la Figura 4.3 que el 96% de los oligonucleótidos tiene un apareamiento promedio menor a 78%, el 83% de los oligonucleótidos tienen 68% que es muy bajo contra un máximo de 91%. En la curva B de la Figura 4.3, el 95% de los oligonucleótidos, tienen un valor de alineamiento menos dos

desviaciones estándar menor a 18 que corresponde al 72% con respecto del valor máximo de 25. Por lo tanto, evaluar el 5% superior en ambos criterios resulta ser suficientemente sobrado.

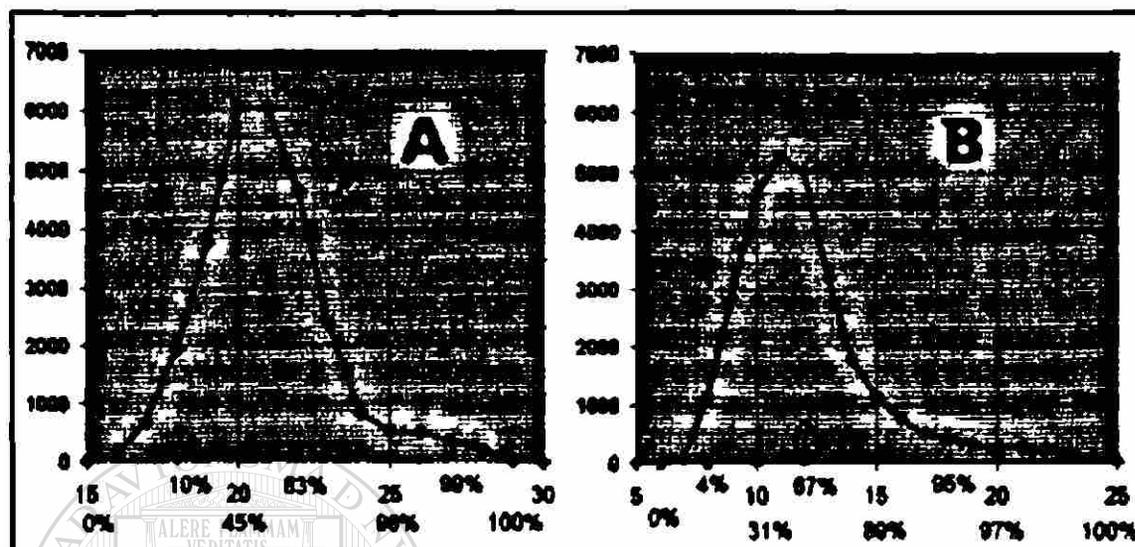


Figura 4.3 Frecuencia de alineamientos de los 28,038 oligonucleótidos consenso posibles de 32nt de longitud. Vertical, la frecuencia de los alineamientos redondeados al entero más cercano. Horizontal, alineamiento en negro, porcentaje de la población en rojo. A) Curva de alineamientos promedios (P): El mínimo es 15/32 (47%) y el máximo 29/32 (91%). Casi el 96% de los oligonucleótidos alinea menos de 25/32 (78%), es decir, solo el 4% de la población tiene P superior a 77%. El 83% de la población tiene P muy bajo, 22/32 (68%). B) Alineamientos promedios menos dos desviaciones estándar (P-2S): El mínimo es 7/32 (22%) y el máximo es 26/32 (81%). El 89% de la población tiene P-2S menor o igual a 15 y solo el 3% de la población tiene un P-2S mayor o igual a 20.

### 4.3.3 Evaluación de los Oligonucleótidos

Se determinó anteriormente que evaluar el 5% de los oligonucleótidos con más alto apareamiento es suficiente para encontrar un buen oligonucleótido como sonda, pero para determinar dentro de esta sub-población los mejores oligonucleótidos, fue necesario diseñar una función que compare los oligonucleótidos entre sí. Las ideas básicas que nos llevaron a diseñar la función a la que llamamos  $f_{sonda}$  fueron las siguientes:

- El éxito de una buena hibridación depende directamente del apareamiento entre cada nucleótido de la sonda con la secuencia blanco. Decidimos incluir el número de nucleótidos iguales con cada secuencia blanco en forma de promedio.
- El éxito de una buena hibridación, depende también de la ausencia o minimización del apareamiento de la sonda con ella misma. Decidimos incluir la energía de formación de estructuras de lazos u horquilla y dimerizaciones.
- Dado que la sonda no aparearía perfectamente con todas las secuencias blanco, por lo tanto habrían desapareamientos a lo largo de la sonda, es indeseable que los desapareamientos ocurran en alguno de los extremos de la sonda. Si los extremos no están apareados, se podría facilitar el despareo de la misma. Decidimos incluir el apareamiento de los últimos tres nucleótidos en cada extremo de la sonda, en forma de promedio y peso a cada uno de ellos.

Asimismo, el correcto apareamiento de alguno de los extremos de la sonda con la secuencia blanco, podría favorecer una posible reacción de PCR.

- Dado que las secuencias blanco no son exactamente las mismas, la temperatura de apareamiento sería variable. *Decidimos homogenizar las temperaturas:* La temperatura óptima depende básicamente del apareamiento con cada secuencia blanco, del contenido de GC y del tamaño del oligonucleótido, así como la concentración de sales. Incluimos la temperatura de fusión media en forma promediada.
- *Dado que se consideran despareamientos en la secuencia, pero no la distribución de ellas:* Decidimos incluir el tamaño máximo de apareamiento contiguo con cada secuencia blanco, de una forma promediada.
- Es posible que dos oligonucleótidos tengan promedio de apareamiento y promedio de temperatura similares. Para poder evaluar cual de los dos resultaría ser el mejor, se decidió que el mejor de los oligonucleótidos que tienen promedios muy similares sería el oligonucleótido cuya desviación estándar del apareamiento y/o temperatura sea mínima: Esto evitaría que algunas secuencias tengan muy poco apareamiento y/o muy baja temperatura, pero compensado con otras secuencias de apareamiento y/o temperatura altos. Decidimos reducir el promedio en dos desviaciones estándar a cada término, bajo la suposición de que la distribución del apareamiento y de las temperaturas se aproxima a una curva estadística normal. Dada la suposición de una distribución normal, la media menos dos desviaciones representan el 96% de la población y resulta en un estadístico tal, que sólo el 2% de la población está por debajo de este valor; es decir, solo una de las 52 secuencias podrían estar por debajo del estadístico escogido. Ahora, la desviación estándar de la población se ve afectada por secuencias blanco que aparean muy poco con la sonda o a secuencias blanco que aparean mucho con la sonda o a ambos casos en la misma población. Entonces es preferible que la desviación estándar de un oligonucleótido sea provocada por apareamientos altos que por apareamientos bajos. Para "premiar" a aquellos oligonucleótidos cuya desviación es provocada por secuencias blanco con muy alto apareamiento y "castigar" aquellos oligonucleótidos cuya desviación es provocada por secuencias blanco con muy bajo apareamiento: decidimos introducir como "corrección", el número de secuencias de apareamiento superior al 89% menos el número de secuencias con apareamiento por debajo de 61%.

Para determinar el peso aproximado de cada término, se formaron 5 grandes grupos:

Término	Unidades	Rango
Apareamiento	Nucleótidos	0~L*
Temperatura media de fusión	°C	0~100
Apareamiento en los extremos (5' y 3')	Nucleótidos	0~N <sup>§</sup>
Encadenamiento	Nucleótidos	0~L*
Energías intermoleculares e intramoleculares	Kcal/mol	-95~0 <sup>†</sup>

\*L es la longitud del oligonucleótido. § N es el número de secuencias.

† Calculado para 50 nucleótidos aunque en ejecución se determina en función de la longitud real del oligonucleótido en curso.

Para evaluar todos los parámetros en una sola función, a cada término se le asoció una constante de "peso" relativo. El peso relativo de cada constante fue determinado variando solo una de las constantes, hasta obtener resultados satisfactorios. Para poder sumar cada uno de los parámetros, dado que son unidades completamente diferentes y a escalas diferentes, se normalizaron al valor máximo y mínimo permisible resultando en valores de 0 y 1 antes de multiplicar por el "peso" relativo de cada uno. Para comparar oligonucleótidos de diferente tamaño, los términos se multiplicaron por el inverso de la longitud del oligonucleótido.

La función para evaluar los oligonucleótidos resultó ser la siguiente :

$$f_{sonda} = sP + sE + sG + sJ + sM$$

donde

$$sP = (P_m - 2P_{SD}) * 0.18 * (1/50 + 1/Ol) + 0.333 * (N_{Ov} - N_W) / N_{sec}$$

$$sE = 0.6 N_{m5+0} + 0.3 N_{m5+1} + 0.1 N_{m5+2} + 0.6 N_{m3+0} + 0.3 N_{m3-1} + 0.1 N_{m3-2}$$

$$sG = sGH + sGD$$

$$sGH = 0.04 * (\Delta GH_N + 12.6) / 12.6$$

$$sGD = 0.04 * (\Delta GD_N + 19.8) / 19.8$$

$$sJ = 0.5 * (J_m - J_n) * 0.05 * (1/50 + 1/Ol)$$

$$sM = (Tm_m - 2Tm_{DS}) * 0.18 * (1/50 + 1/Ol) + 0.333 * (N_{Ov} - N_W) / N_{sec}$$

$$Tm_m = Tm_{opt} \text{ promedio } (\Sigma(Tm_{opt}) / N_{sec})$$

$$Tm_{DS} = \text{Desviación estándar de } Tm_{opt}$$

$$Tm_{opt} = Tm_{Primer} * 0.3 + Tm_{Product} * 0.7$$

$$Tm_{Product} = (100.5 + 16.6 * \log_{10}(0.050) + 0.41 * \%GC - (820 / Ol) - \%mismatch$$

$$Tm_{Primer} = (1000.0 * (\Delta h - 3.4) / (\Delta s + 1.987 * \log(1 / 50 * 10^9))) - 273.15 + 16.6 * \log_{10}(50 * 10^3)$$

$$P_m = \text{Apareamiento promedio}$$

$$P_{SD} = \text{Desviación estándar del apareamiento promedio}$$

$$Ol = \text{longitud del oligonucleótido.}$$

$$N_{sec} = \text{Número de secuencias}$$

$$N_{Ov} = \text{Número de secuencias que rebasan 89\% de apareamiento}$$

$$N_W = \text{Número de secuencias que no llegan a 61\% de apareamiento}$$

$$N_{m5+0} = \text{Número de nucleótidos que aparean en el extremo 5'}$$

$$N_{m5+1} = \text{Número de nucleótidos que aparean 1 nucleótido después del extremo 5'}$$

$$N_{m5+2} = \text{Número de nucleótidos que aparean 2 nucleótidos después del extremo 5'}$$

$$N_{m3-2} = \text{Número de nucleótidos que aparean 2 nucleótidos antes del extremo 3'}$$

$$N_{m3-1} = \text{Número de nucleótidos que aparean 1 nucleótido antes del extremo 3'}$$

$$N_{m3-0} = \text{Número de nucleótidos que aparean en el extremo 3'}$$

$$J_m = \text{Promedio del encadenamiento (numero máximo de nucleótidos que aparean y estan consecutivos)}$$

$$J_n = \text{Mínimo de cada uno de los encadenamientos de cada secuencia}$$

$$\Delta GH_N = \text{Energía libre máxima de formación de un complejo de horquilla calculada con el método Neighbor (Breslauer y cols. 1986)}$$

$$\Delta GD_N = \text{Energía libre máxima de formación de un complejo intermolecular calculada con el método Neighbor (Breslauer y cols. 1986)}$$

Los 5 grupos se aproximan a los pesos relativos de 0.36, 0.12, 0.08, 0.10 y 0.36 de peso para  $sP$ ,  $sE$ ,  $sG$ ,  $sJ$  y  $sM$  respectivamente.

## 4.4 Diseño de la Sonda (GH-Explorer I)

Las secuencias iniciales de 32 nucleótidos ordenadas por alineamiento promedio reportadas según *MaxProbe* fueron:

- 1) ctggcctgcttcaagaaggacatgcacaaggt
- 2) aaggtggagacctacctgacggtggccaaatg
- 3) tcctatcgactgattgagtcttgggagttccc
- 4) ctacgaactgctggcctgcttcaagaaggaca
- 5) ggctctctccagaggccaactgcacacctgtag
- 6) ttgagtcttgggagttccccagtcggtctctg
- 7) tgaggagcagcgacagctcaacaaaatcttcc
- 8) gaactgctggcctgcttcaagaaggacatgca
- 9) ttcaagaaggacatgcacaaggtggagacct
- 10) gtggagacctacctgacggtggccaaatgca
- 11) cacaaggtggagacctacctgacggtggccaa

Sin embargo, después de que *MaxProbe* realizó la extensión y cortes automáticos en ambos extremos, 7 de las secuencias, las secuencias 1, 2, 4, 8, 9, 10 y 11 convergieron a la secuencia siguiente:

gcctgcttcaagaaggacatgcacaaggtggagacctacctg (42nt)

La convergencia se explica "alineando" y comparando las secuencias entre si...

gcctgcttcaagaaggacatgcacaaggtggagacctacctg (42nt)  
 ctacgaactgctggcctgcttcaagaaggaca (4)  
 gaactgctggcctgcttcaagaaggacatgca (8)  
 ctggcctgcttcaagaaggacatgcacaaggt (1)  
 ttcaagaaggacatgcacaaggtggagacct (9)  
 cacaaggtggagacctacctgacggtggccaa (11)  
 aaggtggagacctacctgacggtggccaaatg (2)  
 (10) gtggagacctacctgacggtggccaaatgca

Podemos ver que en realidad es la misma zona y que cada oligonucleótido abarca una buena parte de ésta, pero la única que está totalmente inmersa es el oligonucleótido 9.

En la Figura 4.4 muestra el informe después de indicar a *MaxProbe* que extendiera el extremo 5' de la sonda. Se ve que el apareamiento promedio de la sonda con todas las secuencias es de 48 de 56 nucleótidos (86%); en el peor de los casos (primates), 42 de 56 (75%) y 51 de 56 (91%) en el mejor de los casos (gallo y roedores). La posición 11 se degeneró incluyendo A y G para aumentar el desempeño en primates sin afectar a las demás secuencias (elevando principalmente el encadenamiento -join-). La secuencia definitiva de la sonda a la que llamamos *GH-Explorer I* es la siguiente:

↓

5' gcctgcttcaRgaaggacatgcacaaggtggagacctacctgaggggtcatgaagtg3'

↑

La posición del 5º intrón encontrada en algunos peces se marca con flechas y está situada cerca de la mitad de la sonda. Se especifica también la degeneración introducida.

Obtención de nuevos genes de la hormona del crecimiento (GH) en vertebrados

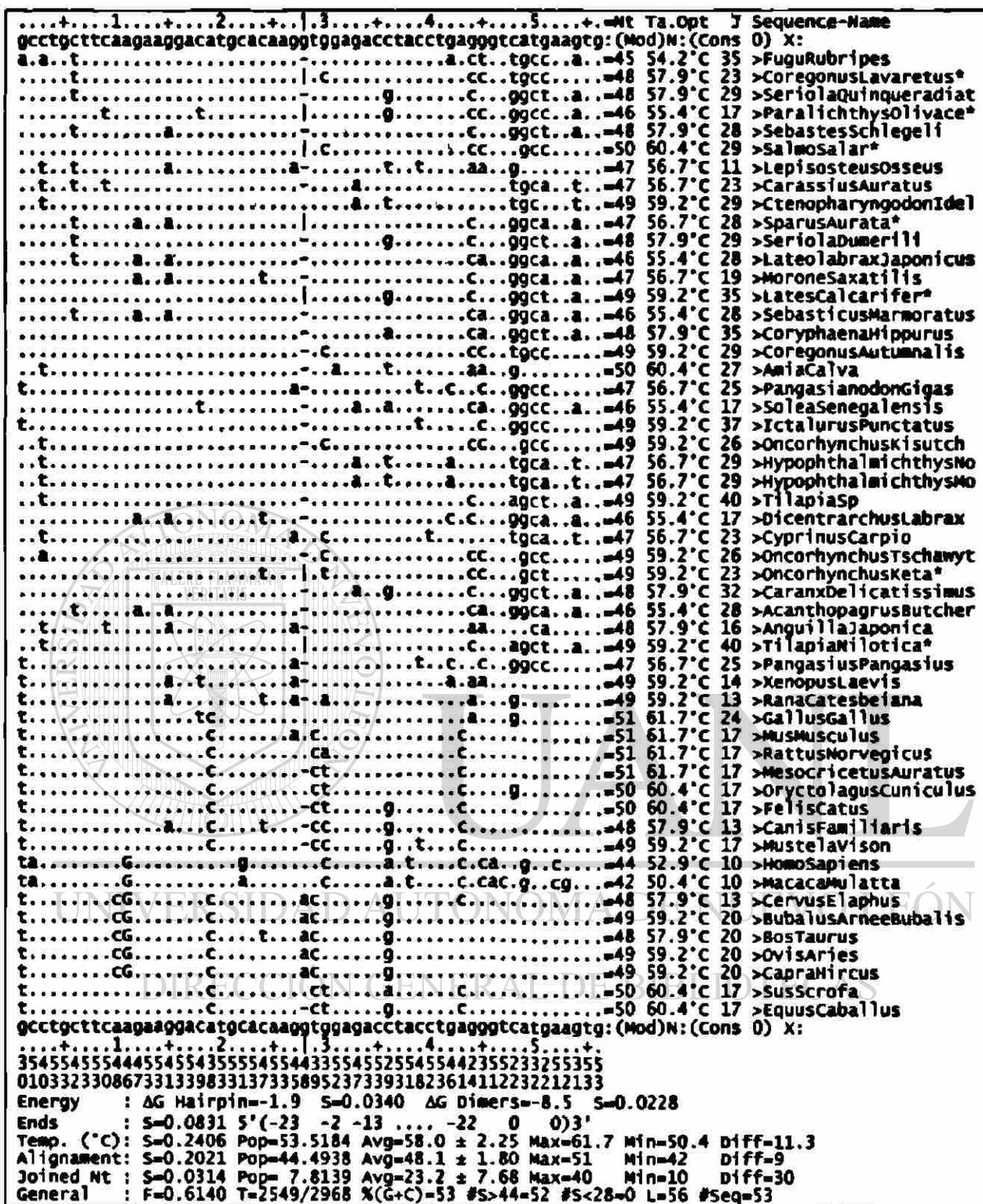


Figura 4.4 Informe del alineamiento de la sonda según MaxProbe. Se muestra el alineamiento. Se resalta con mayúsculas la posición de la degeneración, incrementando el valor de encadenamiento -join- en primates de 10 hasta 19. Se muestra con una barra vertical (|) la posición del intrón 5 solo en las especies que se sabe que lo contienen, un punto (.) en las que se sabe que no lo contienen y un guión (-) en las que no hay evidencia experimental al respecto dado que son secuencias de DNAc. La barra vertical, el punto y el guión, indican igualdad con el nucleótido de la secuencia en cuestión (arriba y abajo).

## 4.5 Comprobación del Desempeño de *GH-Explorer I*

### 4.5.1 Comprobación Virtual de *GH-Explorer I*

Para comprobar la especificidad de la sonda por la GH de vertebrados, se efectuó una consulta en la página de Internet del *GenBank* con la secuencia de *GH-Explorer I*, como se indicó en Material y Métodos. En el informe completo (Anexo 3) se obtuvieron 189 secuencias, de los cuales 173 corresponden a todos los informes de GH obtenidos (Anexo 1), por lo tanto, 16 son falsos positivos. Unos fragmentos representativos por analizar se muestran en la Figura 4.4. Casualmente, las secuencias de GH de pato (Figura 4.6) y atún, las que mejor aparean con la sonda *GH-Explorer I*, no habían sido incluidas en el grupo de secuencias en estudio, seguramente por errores en el filtrado. Las secuencias nucleotídicas de *Bufo marinus* (sapo), *Trichosurus vulpecula* (possum) y algunas otras especies, fueron reportadas en el lapso mientras se hacía el estudio y este escrito. Por el alto parecido con Pato, Atún, Sapo y Possum entre otros, queda demostrado que aún con secuencias desconocidas de la hormona del crecimiento, la sonda *GH-Explorer I* aparece positivamente, así sean de aves, peces, anfibios o vertebrados superiores. Indicando que la zona y secuencia escogida tiene una alta importancia evolutiva y/o funcional.

Gallo (*Gallus domesticus*, *Gallus Gallus*) es uno de los que aparean más alto (Figura 4.6) con el grupo de secuencias en estudio (Figura 4.3) y que en el informe también sale evaluado muy alto (por alto "score" y bajo "E"), coincidiendo con el informe; así mismo sucede con macaco que es de los que menos aparean (Figura 4.7). De los falsos positivos, basta con ver el apareamiento que resulta ser muy pobre, dan un resultado "positivo" debido a que se usó un tamaño mínimo de apareamiento de 8 nucleótidos en el informe, o sea, que todas las secuencias que al menos apareen 8 nucleótidos consecutivos serían posibles positivos, sin embargo el apareamiento es realmente bajo.

\* El informe de los apareamientos no se muestra completo debido al volumen de información. Para analizarlos, debe reproducir la consulta como se indica en material y métodos e introducir el número máximo posible en el parámetro "Alignments" de la página de Internet correspondiente.

## Obtención de nuevos genes de la hormona del crecimiento (GH) en vertebrados

Sequences producing significant alignments:	Score (bits)	E Value
<a href="#">emb X07079 APGH</a> Duck mRNA for growth hormone	<u>83</u>	4e-15
<a href="#">emb X06735 TTGHR</a> Tuna mRNA for growth hormone	<u>83</u>	4e-15
...(omisión)...		
<a href="#">emb V01238 RMGROW2</a> Rat gene for growth hormone (presomatotropin...	<u>75</u>	1e-12
<a href="#">emb X17618 GDGHSOM</a> G.domesticus growth hormone somatotropin mRNA	<u>75</u>	1e-12
...(omisión)...		
<a href="#">gb L25053 RATGNRHR</a> Rattus norvegicus Gonadotropin releasing hor...	<u>75</u>	1e-12
...(omisión)...		
<a href="#">gb AF062746 AF062746</a> Bufo marinus growth hormone precursor, mRNA...	<u>67</u>	3e-10
...(omisión)...		
<a href="#">gb U02293 MMU02293</a> Macaca mulatta growth hormone-variant gene, ...	<u>47</u>	3e-04
...(omisión)...		
<a href="#">gb 882528 882528</a> growth hormone [Lepisosteus osseus-long-nosed ...	<u>41</u>	0.019
<a href="#">emb Z32691 ECT7DN1</a> E.coli (HM174) pT7T7/T7H DNA, 11271 bp	<u>39</u>	0.075
<a href="#">emb Z32693 ECT7DN3</a> E.coli pT7hGH_p1 DNA, 6160bp	<u>39</u>	0.075
<a href="#">gb AF075648 AF075648</a> Equus caballus microsatellite LEX046	<u>37</u>	0.30
<a href="#">gb L16556 MACGH</a> Monkey growth hormone mRNA, complete cds and fl...	<u>37</u>	0.30
...(omisión)...		
<a href="#">db D10640 ONHPSOL</a> Chum salmon mRNA for somatolactin, complete cds	<u>35</u>	1.2
...(omisión)...		
<a href="#">gb U63803 AMU63803</a> Arothron maculatus growth hormone (GH) gene, ...	<u>33</u>	4.8
...(omisión)...		
<a href="#">gb U90307 HSU90307</a> Human iroquois-class homeodomain protein IRX...	<u>33</u>	4.8

Figura 4.5 Fragmentos representativos del informe del apareamiento de la sonda GH-Explorer I con las secuencias reportadas en GenBank.

<a href="#">emb X07079 APGH</a> Duck mRNA for growth hormone	Length = 794
Score = 82.7 bits (41), Expect = 4e-15	
Identities = 51/55 (92%), Positives = 51/55 (92%)	
Query: 2 cctgcttcargaaggacatgcacaagggtggagacctacctgaggggtcatgaagtg 56	
Sbjct: 601 cctgcttcaagaaggacctgcacaagggtggagacctacctgaaggtgatgaagtg 655	
<a href="#">emb X17618 GDGHSOM</a> G.domesticus growth hormone somatotropin mRNA	Length = 782
Score = 74.7 bits (37), Expect = 1e-12	
Identities = 50/55 (90%), Positives = 50/55 (90%)	
Query: 2 cctgcttcargaaggacatgcacaagggtggagacctacctgaggggtcatgaagtg 56	
Sbjct: 597 cctgcttcaagaaggatctgcacaagggtggagacctacctgaaggtgatgaagtg 651	

Figura 4.6 Mejores apareamientos.

<a href="#">gb U02293 MMU02293</a> Macaca mulatta growth hormone-variant gene, complete cds.	Length = 2594
Score = 46.6 bits (23), Expect = 3e-04	
Identities = 30/33 (90%), Positives = 30/33 (90%)	
Query: 3 ctgcttcargaaggacatgcacaagggtggagac 35	
Sbjct: 1889 ctgcttcaggaaggacatgaacaagggtcgagac 1921	

Figura 4.7 Bajo apareamiento.

Existe un falso positivo que resulta en un apareamiento muy alto, "Rattus norvegicus Gonadotropin releasing hormone" (Figura 4.8), el cual analizando las referencias del informe, descubrimos que la secuencia es derivada de una línea celular de tumor pituitario. Las otras secuencias reportadas son muy poco parecidas o bacterianas; lo que nos sugiere

que pudo haber recombinación específica en esta línea celular que pudo dar lugar a la obtención de esa secuencia.

```
gb|L25053|RATGNRH Rattus norvegicus Gonadotropin releasing hormone receptor
(GnRH-R) mRNA, complete cds. Length = 2938
Score = 74.7 bits (37), Expect = 1e-12
Identities = 50/55 (90%), Positives = 50/55 (90%)
Query: 2 cctgcttcargaaggacatgcacaagggtggagacctacctgagggtcatgaagtg 56
||||||| ||||| ||||| ||||| ||||| ||||| |||||
Sbjct: 149 cctgcttcaagaaggacctgcacaaggcagagacctacctgagggtcatgaagtg 95
```

Figura 4.8 Falso positivo. Vease texto.

## 4.5.2 Comprobación Experimental de *GH-Explorer I*

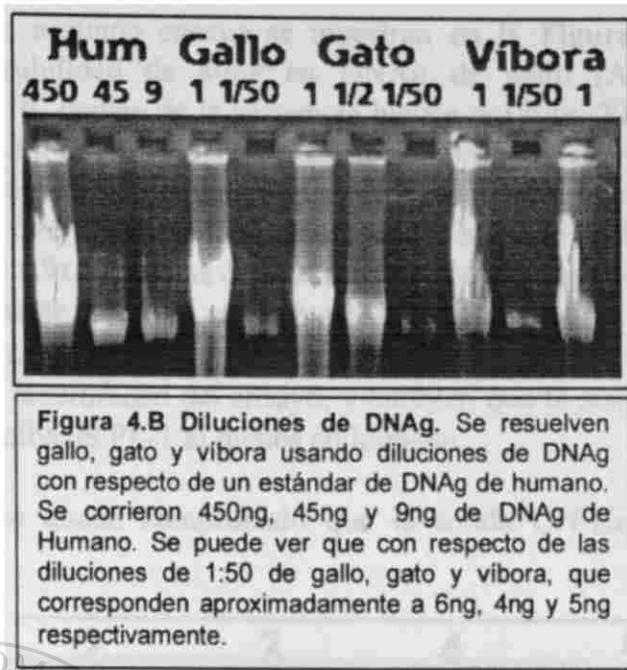
### 4.5.2.1 Extracción y Semicuantificación del DNAg

En la Figura 4.A se muestra la imagen del gel con los DNAg de humano, carpa, ratón, catán, tortuga (1), tiburón, avestruz, jirafa, gato, ameca, gallo, lagartija, guppy, tilapia, tortuga (2) y serpiente. Los resultados de la cuantificación son 450ng, 350ng, 250ng, 250ng, 200ng, 200ng, 700ng, 300ng, 185ng (en Figura 4.B), 50ng, 300ng (en Figura 4.B), 150ng, 20ng, 350ng, 400ng y 300ng respectivamente. Había duda en los carriles de gato, víbora y gallo que se resolvieron haciendo una extracción Fenol:Sevag<sup>†</sup> (1:1), diluyendo con H<sub>2</sub>O y calentando 2min a 60°C. Los resultados se muestran en la Figura 4.B.



Figura 4.A Semicuantificación del DNAg de diferentes especies. humano, carpa, ratón, catán, tortuga (1), tiburón, avestruz, jirafa, gato, ameca, gallo, lagartija, guppy, tilapia, tortuga (2) y serpiente de izquierda a derecha respectivamente.

<sup>†</sup> Sevag esta compuesto de Cloroformo:Alcohol isoamílico (24:1).



#### 4.5.2.2 Ensayo de Hibridación

Para comprobar el funcionamiento de *GH-Explorer I*, se hicieron dos ensayos de hibridación tipo slot-blot en membrana de nylon usando DNAg de varias especies como secuencias blanco. El primer ensayo demuestra que la sonda *GH-Explorer I* hibridó con todos los DNAg de las especies incluidas y el resultado se muestra en Figura 4.9. Se observan diferencias en la intensidad de detección, las cuales pueden ser debidas a la variación en la cantidad y calidad del DNAg, diferencias en los tamaños de los genomas y al apareamiento de la sonda según la secuencia. La única variación significativa en la cantidad de DNAg es guppy (C5) con 3.5µg en vez de 8µg, por lo tanto, las variaciones en intensidad deberían corresponder a las variaciones de apareamiento de *GH-Explorer I* con la secuencia específica normalizando respecto al tamaño del genoma. Podemos ver que 800ng de DNAg de gallo (E1) se detectan perfectamente, con dificultad se logran apreciar 80ng de DNAg de gallo (E2). La integración densitométrica que se ve en la Tabla 4.3 muestra que las dos líneas más intensas son las de gallo y ratón (A6 y B1) que parecieran coincidir con los resultados obtenidos en el apareamiento tanto en el diseño de la sonda (Figura 4.4 Apareamiento *Gallus gallus*=51/56 y *Mus musculus*=51/56) como en el informe de BLAST (Anexo 3); las siguientes en cuanto a intensidad serían Carpa y Tilapia (B6 y C1 respectivamente) que también parecen coincidir (Figura 4.4 Apareamiento *Cyprinus carpio*=47/56 y tilapia=49/56). De hecho, tilapia posee un sexto exón y no se aprecia diferencia significativa. Las menos intensas son humano, jirafa y cerdo (A1, A4 y A5), en humano también es consistente con el informe de BLAST. En catán y tiburón (C3 y C4) se aprecia una señal aceptable, considerando que éstos peces son muy primitivos y que pudieran tener más variaciones en la secuencia nucleotídica que todavía no se conoce. Toda la línea D es de DNA plasmídico usado como control positivo y de sensibilidad, y no se aprecia señal alguna; dado que el control negativo también es un plásmido, se tuvo duda de la integridad del ensayo y para resolverlo se hizo el segundo ensayo.

Los resultados del segundo ensayo se muestran en la Figura 4.10. En este ensayo confirmamos la sensibilidad de 80ng en DNAg de gallo (A3) lo que equivale a aproximadamente  $6 \times 10^4$  copias de la secuencia blanco o 120fg. Ya no se aprecian 8ng de DNAg de gallo (A4). En DNA de GH de jirafa se pudieron detectar hasta 12pg (B3) ( $32 \text{pg} / (4833/1875)$ ) que equivalen a  $6.13 \times 10^6$  copias de la secuencia blanco que es 2 órdenes de magnitud menos. En DNA de lactógeno placentario 1 humano (hpl-1) se lograron detectar 3.2ng lo que equivale a  $9 \times 10^8$  copias de la secuencia blanco que son 4 órdenes de magnitud menos (aproximadamente tomando en cuenta las intensidades y la cantidad de DNA). Por densitometría no se detecta nada en los controles negativos (D1~D6). Comprobamos la reproducibilidad y la sensibilidad del ensayo, y también que la sonda tiene menos afinidad por otro gen de la familia, el PL-1 al menos en humano.

Con estos ensayos queda comprobado que la sonda *GH-Explorer I* funciona para vertebrados.

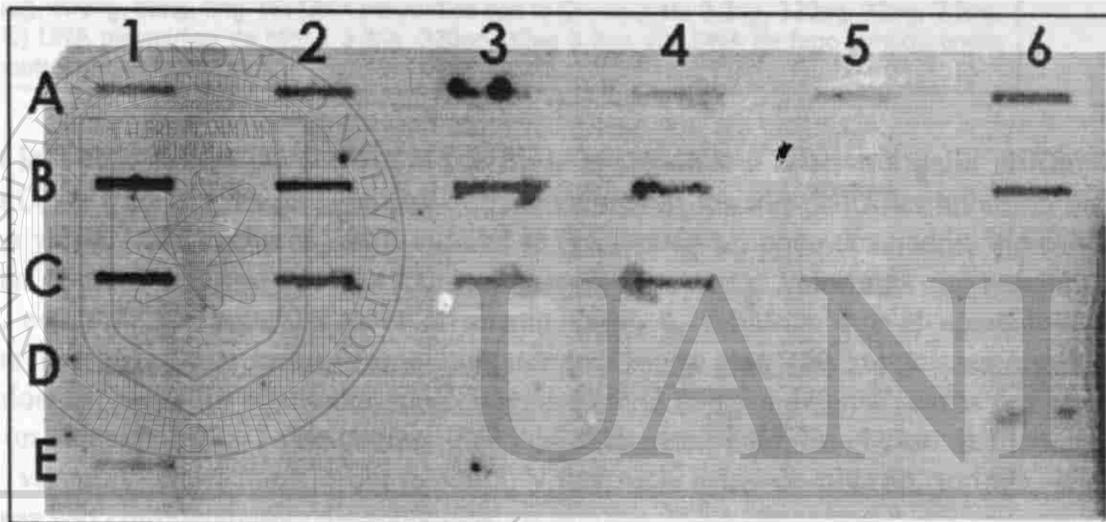


Figura 4.9 Hibrización de *GH-Explorer I* con DNAg de varias especies. Línea A: Humano, gato, vaca, jirafa, cerdo y ratón (de 1 a 6 respectivamente). Línea B: gallo, avestruz, tortuga, víbora, gecko, carpa. Línea C: Tilapia, ameca, catán, tiburón, guppy y pBR322 (Control negativo). Línea D: pBSjGH-J5 (titulación). Línea E: gallo 800ng y gallo 80ng.

Tabla 4.3 Apareamiento de la sonda *GH-Explorer I* a DNA de diferentes especies <sup>3</sup>.

	1	2	3	4	5	6		1	2	3	4	5	6
A	0.62	0.77	0.47	0.30	0.45	0.90	A	1.83	2.28	1.45	0.87	1.17	2.77
B	1.00	0.73	0.68	0.64	0.33	0.72	B	1.09	0.77	1.55	1.16	0.75	1.07
C	0.89	0.82	0.56	0.63	0.27		C	1.35	1.33	0.82	0.93	0.84	
D							D						
E	0.098	0.015					E	0.85	1.09				

<sup>3</sup> (Izquierda) Integración densitométrica de las señales de la Figura 4.10 relativas a gallo. Se subrayan los que participaron en la curva de calibración. (Derecha) Fuerza de apareamiento relativo a gallo ( $(\log(\text{Área\_Relativa\_a\_gallo}) - b) / m$ ) / ( $\text{Tamaño\_Genoma\_gallo} / \text{Tamaño\_Genoma\_Especie}$ );  $m = 0.91374$ ,  $b = -0.03238$ ), es decir, los que tienen un apareamiento "aparente similar" a gallo, tendrán un valor cercano a 1, menor para los que aparean menos y mayor para los que aparean más. En gecko, ameca y guppy se hicieron correcciones por la cantidad disminuida de DNAg. Los tamaños utilizados en cada genoma se muestran en Tabla 3.4.

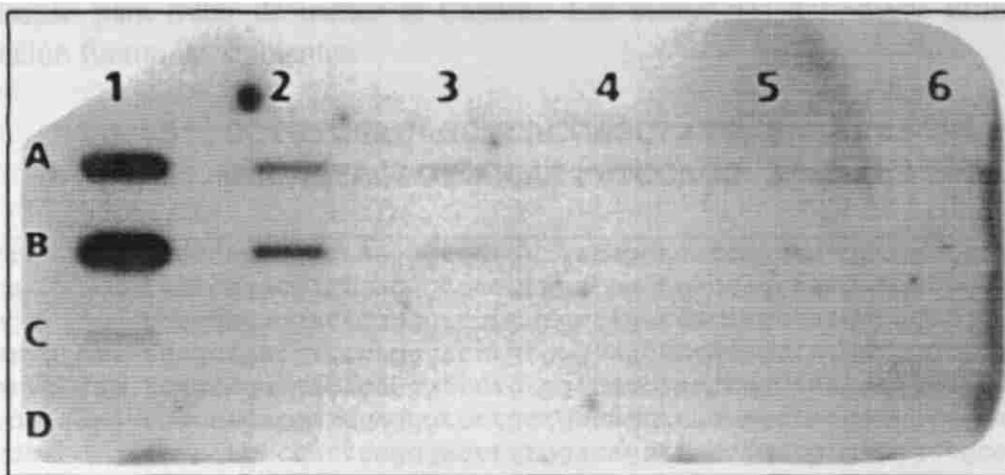


Figura 4.10 Hibridación de *GH-Explorer I* con titulaciones de DNA. (A) DNAg de gallo 8ug, 800ng, 80ng, 8ng. (B) DNA plasmídico con la GH de jirafa 3.2ng, 320pg, 32pg, 3 2pg. (C) DNA plasmídico de hPL-1 3.2ng, 320pg, 32pg 3.2pg. (D) DNA de fago lambda como control negativo.

En la Tabla 4.3, se pueden ver la fuerza de apareamiento relativa a gallo utilizando la sonda *GH-Explorer I*. Es de esperarse que los valores de los tres controles hubiesen dado el mismo valor: 1, sin embargo, estos valores se encuentran un poco desviados, indicando un margen de error cercano al 15%. Asimismo se observa que el valor más alto resulta ser en ratón, con 2.77; se esperaba tener el mismo valor, 1, debido a que el apareamiento es similar (51/56). Otros casos, como humano (44/56) y gato (50/56) y vaca están muy elevados. En peces los resultados son cercanos dado el margen de error, carpa por ejemplo, tiene un valor de 1.07 y coincide muy bien con el apareamiento. En el caso de tilapia puede haber variación en el tamaño del genoma, y, las secuencias de tiburón, tortuga, gecko y avestruz son completamente desconocidas.

## DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

### 4.6 Diseño de Oligonucleótidos Iniciadores para PCR

Para el diseño de iniciadores para PCR se usaron dos metodologías. La primera y la más común fue el alineamiento de las secuencias de los artiodáctilos para buscar un consenso. La segunda metodología fue usando la estrategia de búsqueda de consensos como en el diseño de la sonda *GH-Explorer I*.

#### 4.6.1 Diseño de Iniciadores para Artiodáctilos

El alineamiento realizado en *CLUSTALW* de las secuencias 5' y 3' de Artiodáctilos se muestra en la Figura 4.11 y Figura 4.12 respectivamente. Ambos oligonucleótidos tienen una longitud de 24nt y la temperatura de fusión media ( $T_m$ ) resulta ser de 69°C y 72°C para el 5' y 3' respectivamente. El nucleótido en la posición 6 de Art5'-140 fue cambiado del consenso para romper una estructura de horquilla (apareamiento intramolecular)

determinado usando *OLIGO*. Los nucleótidos 7 y 17 en Art3'-139 fueron cambiados del consenso para tratar de incluir al Caballo. Las secuencias definitivas utilizadas para la reacción fueron las siguientes:

5' CCTGTTGACAGCTCACCAGCTATG 3' Art5'-140  
 5' GGCAGTAGAGTGGCACTTTCCAGG 3' Art3'-139

cabra	tcaccagacgactcaggggtcctgctgacagctcaccactatgatggctgcagggccccc
vaca	tcaccagacgactcaggggtcctgctggacagctcaccagctatgatggctgcagggccccc
oveja	tcaccagacgactcaggggtcctgctgacagctcaccagctatgatggctgcagggccccc
Ciervo Ame.	tcagcagacgactcaggggtcctgctggacagctcaccagctatgatggctgcagggccccc
Ciervo Jap.	tcagcagacgactcaggggtcctgctggacagctcaccagctatgatggctgcag-----
cerdo Jap.	tcaccagacgactcaggggtcctgctgacagctcaccagctatgatggctgcag-----
cerdo	tccccagaccactcagggacctgtggacagctcaccggctgtgatggctgcaggccctcg
búfalo Afr.	-----atgatggctgcagggccccc
Caballo	-----atggctgcaggctcctag
	** ***** **
Consensus	TCacCAGACgACTCAGGGtCCTGtgGACAGCTCACCagCTaTGATGGCTGCAGgccccc

Figura 4.11 Alinamiento de la región 5' UTR de Artiodáctilos. La zona utilizada para el diseño del iniciador llamado Art5'-140 se muestra resaltada terminando justo al final del codón de inicio de traducción. Véase que cerdo es la especie con más diferencias (3/24) y muy cercanas al extremo 3'. Los guiones ("-") indican ausencia de secuencia en esa zona. Los asteriscos ("\*") indican igualdad en todas las secuencias.

cabra	ccctccccgtgccttcttagaccctggaaggtgccactccagtgccactgtcctttct
vaca	cctccccgtgccttcttagaccctggaaggtgccactcc-----cactgtcctttct
oveja	ccctccctgtgccttcttagaccctggaaggtgccactccagtgccaccctgtcctttct
Ciervo Ame.	cctccccatgccttcttagaccctggaaggtgccactccagtgccactgtccttct
Ciervo Jap.	-----
cerdo Jap.	-----
cerdo	cctccccagtacctccctgaccctggaaggtgccaccccaatgctgctgtcctttct
búfalo Afr	-----
Caballo	cctcctcagtgcctcccttgatcctggagagtgccctctagtgcctaccatctttct
	** * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * *
Consensus	CCTcCcCcgTgCCTtCct GAcCCTGGAagGTGCCaCTCCAAGTCCCaCtgtcCTTTcT

Figura 4.12 Alinamiento de la región 3' UTR de Artiodáctilos. La zona utilizada para el diseño del iniciador llamado Art3'-139 se muestra resaltada. La zona corresponde aproximadamente a 55pb después del codón de terminación. Los guiones ("-") indican ausencia de secuencia en esa zona. Los asteriscos ("\*") indican igualdad en todas las secuencias.

## 4.6.2 Diseño Automatizado de Oligonucleótidos para PCR

Para amplificar por PCR la región codificante del gen de la GH, se diseñaron oligonucleótidos consenso de las secuencias 5'UTR y 3'UTR, se probó la especificidad comparando en la base de datos *GenBank* usando *BLAST*, y se comprobó el desempeño usando *Amplify*. Se utilizaron cuando mucho 500nt río arriba del codón de inicio y 1000nt río abajo del codón de terminación. Se eliminaron las secuencias de longitud menor a 22nt. Se elaboró un programa computacional llamado *MaxPrimer* para la búsqueda de iniciadores consenso. La búsqueda se realiza en orden descendente del promedio de apareamiento de cada oligonucleótido consenso con todas las secuencias; la búsqueda termina hasta que todas las secuencias se pueden aparear con un iniciador o se terminan los

oligonucleótidos. Para evaluar los iniciadores fue necesario diseñar una función para compararlos entre sí. Dado el éxito obtenido en este trabajo para la evaluación de una sonda consenso, pensamos que básicamente la tarea de búsqueda y evaluación era la misma y que solo faltaría considerar una característica propia del ensayo, la iniciabilidad, que fue considerada exactamente igual como la calcula el programa *Amplify 1.2* sumando un valor correspondiente a cada posición apareada del iniciador con la secuencia blanco. La suma es dividida por el valor máximo que pueda tener un iniciador dada la longitud para obtener un porcentaje de iniciabilidad. En este trabajo consideramos una secuencia amplificada si rebasa el valor de 84% de iniciabilidad. Los valores de cada posición son 30, 20, 10, 10, 9, 9, 8, 7, 6, 5, 5, 4, 3, 2, 1, 1, ...; donde el valor mayor corresponde al extremo 3' y el menor al 5'. Para considerar cual de dos iniciadores sería mejor, también se considera el número de secuencias amplificadas por cada iniciador. El detalle de las modificaciones al proceso original de *MaxProbe* incluidos en *MaxPrime* es el siguiente:

- 1) Evaluación ponderada desde el extremo 3' hasta el 5' (Engels, 1992) para evaluar la iniciabilidad.
- 2) Análisis del número de oligonucleótidos necesarios hasta que cada secuencia tenga al menos un oligonucleótido con apareamiento > 85%, para "asegurar" que todas las secuencias tengan al menos un iniciador.
- 3) Evaluación de los oligonucleótidos agrupando únicamente a las especies que sobrepasan 84% de iniciabilidad ("primability" – Capacidad del oligonucleótido a favorecer la iniciación de la polimerización por la polimerasa) para no desviar los estadísticos utilizados en la evaluación de cada oligonucleótido y que la comparación entre oligonucleótidos sea válida.
- 4) Evaluación de oligonucleótidos hasta que todas las secuencias pueden ser blanco de un iniciador usando el criterio de iniciabilidad o hasta que acabarse el conjunto de iniciadores.
- 5) Los oligonucleótidos seleccionados hasta el punto 4) son "desplazados" hacia 5' y 3' 21nt para encontrar la mejor zona dentro de la región.
- 6) Se evalúa la mejor iniciabilidad en lugar de mejor Alineamiento.
- 7) Se calculan los mejores conjuntos de iniciadores que minimicen el número de iniciadores y maximicen el número de secuencias polimerizadas.

La fórmula para evaluar a los iniciadores resultó ser la siguiente:

$$f_{\text{iniciador}} = (f_{\text{sonda}} + s_{\text{Ini}}) * (1 + S_a / 2) \quad \text{sustituyendo...}$$

$$f_{\text{iniciador}} = (s_P + s_E + s_G + s_J + s_{Tm} + s_{\text{Ini}}) * (1 + S_a / 2)$$

donde

$s_P$ ,  $s_E$ ,  $s_G$ ,  $s_J$  y  $s_{Tm}$  son parámetros calculados igual que en  $f_{\text{sonda}}$  considerando solo las secuencias que se evalúan son aquellas con iniciabilidad > 84%.

$s_{\text{Ini}} = (\text{Ini}_m - 2\text{Ini}_{SD}) * 0.40$ .

$S_a = \text{Número de secuencias con iniciabilidad (Ini)} > 84\%$ .

$\text{Ini}_m = \text{Media de Ini}_k$ .

$\text{Ini}_{SD} = \text{desviación estándar de Ini}_k$ .

$\text{Ini}_k = (\sum I_{\text{fac}_i}) * 100 / \text{Ini}_{\text{max}}$ ; donde  $k$  es cada secuencia e  $i$  la posición de cada nucleótido dentro de la secuencia.

$Ifac_i = \text{Alguno de } \{ 15, 12, 10, 10, 9, 9, 8, 7, 6, 5, 5, 4, 3, 2, 1, 1, \dots \}$  para  $i = \{1, 2, 3, 4, \dots\}$  si y solo si el nucleótido en la posición  $i$  es igual tanto en el iniciador como en la secuencia blanco (donde  $i = 1$  para el nucleótido en el extremo 3',  $i = 2$  para el consecutivo hacia 5' y así sucesivamente).

$Ini_{max} = (\sum Ifac_i)$ ; considerando el iniciador y la secuencia blanco iguales.

La Tabla 4.4 muestra las especies y los tamaños de la secuencia usada para la búsqueda de iniciadores. Se obtuvieron 42 secuencias para el extremo 5' y 50 para el extremo 3' variando los tamaños. La amplificación *in silico* solo es posible en aquellas secuencias que tienen tanto extremo 3' como 5' y solo éstas fueron usadas para la comprobación en *Amplify 1.2*.

Tabla 4.4 Conjunto de secuencias usadas para el diseño de iniciadores.<sup>§</sup>

5'	CDS	Especie	3'	5'	CDS	Especie	3'
	588	<i>AmiaCalva</i>	248	38	633	<i>CoregonusAutumnalis</i>	71
22	636	<i>LepisosteusOsseus**</i>	1000	498		<i>OncorhynchusKisutch</i>	484
	630	<i>AnguillaJaponica</i>	181	72	633	<i>Oncor. Tschavytcha**</i>	433
	251	<i>PoeciliaReticulata</i>		500	633	<i>OncorhynchusKeta</i>	792
	251	<i>ColisaLalia</i>		500	633	<i>SalmoSalar</i>	1000
50	615	<i>MoroneSexatilis</i>	255	380	633	<i>CoregonusLavaretus</i>	520
32	621	<i>CaranxDelicatissimus</i>	180	258		<i>XenopusLaevis</i>	228
396	615	<i>SeriolaQuinqueradiata</i>	168	420		<i>XenopusLaevis</i>	
96	468	<i>SeriolaDumerilii</i>		648		<i>RanaCatesbeiana</i>	1
500	615	<i>LatesCalcarifer</i>	310	500	651	<i>GallusGallus</i>	182
26	624	<i>TilapiaSp</i>	237	38	651	<i>Anas platyrhynchos</i>	106
500	615	<i>TilapiaNilotica</i>	418	48	651	<i>Meleagris Gallopavo</i>	79
	612	<i>CoryphaenaHippurus</i>		431	654	<i>CapraHircus</i>	480
	615	<i>DicentrarchusLabrax</i>			654	<i>BubalusArneeBubalis</i>	
	564	<i>LateolabraxJaponicus</i>		500	654	<i>BosTaurus</i>	518
	615	<i>AcanthopagrusButcheri</i>		500	654	<i>OvisAries</i>	1000
24	615	<i>SparusAurata</i>	233	275	13	<i>CapricornisCrispus</i>	
118	573	<i>ParalichthysOlivaceus</i>	180	220	654	<i>GiraffaCamelopardal</i>	32
17	612	<i>SoleaSenegalensis</i>	119	180	654	<i>CervusElaphus</i>	114
21	615	<i>SebastesSchlegeli</i>	258	277	13	<i>CervusNippon</i>	
	564	<i>SebasticusMarmoratus</i>		239	651	<i>SusScrofa</i>	343
	243	<i>ArothronMaculatus</i>			651	<i>CanisFamiliaris</i>	69
500	591	<i>FuguRubripes</i>	1000	51	651	<i>FelisCatus</i>	111
	567	<i>CarassiusAuratus</i>		33	651	<i>MustelaVison</i>	99
500	633	<i>CtenopharyngodonIdella</i>	735	188	651	<i>OryctolagusCunicul</i>	728
272	633	<i>CyprinusCarpio</i>	751		651	<i>EquusCaballus</i>	113
	198	<i>AbramisBrama</i>		500	654	<i>MacaMulatta</i>	621
30	633	<i>Hypophthalmich.Nobilis</i>	503	500	654	<i>HomoSapiens</i>	633
22	633	<i>Hypophthalmich.Molitrix</i>	511	47	651	<i>MesocricetusAuratus</i>	111
500	603	<i>IctalurusPunctatus</i>	715	500	651	<i>MusMusculus</i>	175
58	603	<i>PangasianodonGigas</i>	515	460	651	<i>RattusNorvegicus</i>	171
	604	<i>PangasiusPangasius</i>					

<sup>§</sup> Se resaltan las secuencias con extremos 5' y 3' y se aprecia que no todas las secuencias tienen tanto fragmentos 3' como 5'. Las secuencias de pato y pavo (aves) que se muestran punteadas no fueron consideradas para el diseño automatizado de iniciadores, sin embargo fueron utilizadas junto con gallo para diseñar un par de iniciadores usando la metodología tradicional basada en un alineamiento múltiple e identificando manualmente una zona consenso. Se marca con doble asterisco (\*\*) la secuencia completa que no se puede determinar si hay amplificación por los iniciadores escogidos.

Del conjunto de iniciadores reportado por *MaxPrimer*, se escogieron manualmente los de mejor amplificación por mayor número de especies hasta incluir el mayor número de

especies posibles. Se ignoraron los oligonucleótidos que solo podrían amplificar una sola secuencia. Dado que ningún iniciador producía un producto amplificado en gallo, se consideraron dos secuencias más de aves, la de pato y pavo (filtradas erróneamente y explicadas en resultados anteriores) para diseñar un par de iniciadores exclusivo para aves. Se usó la misma metodología tradicional como en el diseño de iniciadores para artiodáctilos del punto anterior.

El conjunto de iniciadores escogidos se muestra en la Tabla 4.5. La secuencia de cada iniciador fue introducida como consulta en la base de datos *GenBank* mediante *BLAST*<sup>‡</sup> con el objetivo de encontrar inespecificidades. La única combinación de iniciadores con energía <10Kcal/mol es “Ext\_5’\_(pez/6)” y “Ext\_3’\_(pez/1)” con -14.5Kcal/mol. En total, resultaron 11 iniciadores para el extremo 5’UTR y 8 para el extremo 3’UTR. De los 11 iniciadores del extremo 5’, 3 son exclusivos para mamíferos, 1 para aves y 7 para peces, coincidiendo con la observación global de los alineamientos donde las GHs resultaron estar más conservadas en mamíferos que en peces. La región de apareamiento del iniciador “Ext5’/pit/mam-1” en mamíferos coincide con un sitio de unión del factor transcripcional Pit-1 (Ingraham, 1988) que está muy conservado en mamíferos situado unas 185pb antes del codón de inicio; por lo tanto se presume que también podría estar conservada esta región en los demás mamíferos, aún así, se decidió incluir dos iniciadores más “Ext5’/mam-2” y “Ext5’/mam-3” que se aparean aproximadamente 30pb y 45pb antes del codón de inicio, respectivamente. De los 8 iniciadores para el extremo 3’, 2 son principalmente para mamíferos, 1 para aves y 5 para peces. Se observa que el iniciador de mamíferos del extremo 3’ Ext3’(mam/1) es similar a Art3’ diseñando manualmente en el punto anterior, esto confirma que la metodología automatizada de diseño es acertada, no se observa un iniciador parecido a Art5’ debido por un lado a que no se consideraron los 3 nucleótidos de región codificante incluidos en Art5’ y a que el iniciador Ext5’/pit/mam-1 es de más alta similitud y abarca además, a más especies, es decir, el algoritmo de búsqueda no encuentra algún iniciador similar a Art5’ porque no hay alguna especie incluida en Art5’ que no este incluida en Ext5’/pit/mam-1. En los resultados de *BLAST* de cada iniciador, se aprecian diferencias notables entre el número de especies consideradas positivas por *MaxPrime* y el número de especies consideradas positivas por *BLAST* (la diferencia se discute en el Capítulo 5). Para considerar los positivos en secuencias no relacionadas a GH (columna “otras [+]” en Tabla 4.4), en cada informe de *BLAST* se contaron el número de secuencias “diferentes”<sup>§</sup> con el nucleótido del extremo 3’ que sí estuviese apareado. En general no hay muchos positivos ya que la mayoría corresponden a DNA bacteriano en los cuales solo puede haber problemas si hay contaminación, pero, hay algunos iniciadores problemáticos como “Ext\_3’(pez/5)” y “Ext\_5’(pez/2)”, por las regiones ricas de un solo nucleótido.

En la Figura 4.14 se muestra un mapa de las posiciones de apareamiento de todos los iniciadores en las secuencias con al menos un producto amplificable. Se puede ver, en general, que los iniciadores se aparean precisamente en las regiones 5’UTR y 3’UTR. También se observa que hay iniciadores como los simbolizados por “q” y “s” que se aparean en regiones relativamente distales. Además, se aprecia que los iniciadores

<sup>‡</sup> Usando “-W 7 -q 1 -e 20” en “other advanced options” en la página “Advanced Blast” (tamaño de palabra 7, penalización de desapareamiento de 1 y expectativa de 20).

<sup>§</sup> Debido a que hay múltiples reportes de secuencias de DNA, se consideran las secuencias diferentes si hacen referencia a genes diferentes, regiones de DNA diferentes dentro un genoma o genomas diferentes.

diseñados de secuencias consenso de peces no se aparean en regiones no codificantes de mamíferos y viceversa. Sin embargo, en regiones codificantes de mamíferos se aparean iniciadores de peces y también, se aparean algunos iniciadores de mamíferos en secuencias de peces (como en la secuencia de *Giraffe camelopardalis* obtenida en este trabajo). De todas las secuencias con ambos extremos disponibles, solo 1, *Lepisosteus Osseus* no se puede determinar si hay amplificación debido a que el extremo 5' no es lo suficientemente largo. En la Figura 4.15 se muestra un mapa las secuencias que no pudieron ser amplificadas por los iniciadores. En estas secuencias, es claro que no se puede determinar la amplificación de la secuencia codificante completa de la GH debido a la ausencia de alguno de los extremos. Aún así, en la *Discusión* (capítulo 5) se plantea una buena alternativa para obtener al menos un fragmento mayoritario de la secuencia codificante de la GH.

Tabla 4.5 Conjunto de iniciadores seleccionados.

Nombre	Secuencia (5' → 3') *	T <sub>m</sub> (°C)	ΔG Loop	ΔG Dímero	Máximo ↓	Sec (+)	BLAST (+)	Otras (+)
a) Ext_5' (mam-pit/1)	TCTAAATTATCCATYAGCACA	52.8	-0.4	-5.3	AATF TTAA	12	12	1
b) Ext_5' (mam/2)	AGGGTCCTGTGGACAGCTCAC	67.7	-1.4	-6.6	CAGG GTCC	13	13	1
c) Ext_5' (mam/3)	TTCACCAGACCCTCAGGGTC	65.9	-1.7	-6.0	GACC CTGG	10	9	0
d) Ext_5' (pez/1)	CAGAAGCAGAACCCTGAACCAG	64.0	0.7	-3.5	CTG GAC	5	4	5
e) Ext_5' (pez/2)	AGAAACAGAACCCTGAACCCTGA	60.3	0.7	-3.5	CAG GTC	8	**5	>15
g) Ext_5' (pez/3)	ATGTTTCTCTTGATGAATTTA	52.8	0.6	-5.3	AATF TTAA	4	4	3
h) Ext_5' (pez/4)	ATCATCCTTGGCAATTAAGAG	56.5	0.6	-5.3	AATF TTAA	4	4	0
i) Ext_5' (pez/5)	ATGTGTCTACCCTGAGCGAA	59.4	2.7	-3.6	CG GC	4	4	0
f) Ext_5' (pez/6)	ACCTGAAACAGAGCCTGAACT	60.3	1.7	-3.5	CAG GTC	4	**2	2
k) Ext_5' (pez/7)	TCTTCAGAGAGATTTGGCAAA	56.5	-0.5	-5.7	TTTG AAAC	2	2	1
l) Ext_5' (pez/8)	GAACTGATCCCAGACCAGCC	63.3	0.7	-4.7	GATC CTAG	3	2	0
t) Ext_5' (ave/1)	GCAACACCTGAGCAGCTCTCC	65.9	-1.1	-6.3	AGCT TCGA	3	3	1
m) Ext_3' (mam/1)	CTGGAAGTGTCCACTCCAGGG	69.6	-7.1	-11.	CTGGA GAACTT	11	6	7
n) Ext_3' (mam/2)	AGGGTCCTGTGGACAGCTCAC	49.1	-1.4	-6.6	CAGG GTCC	13	7	0
o) Ext_3' (pez/1)	AGCAAGAGCCTGTCTCCAGGG	67.7	-2.1	-6.6	CTTG GGAC	6	6	7
p) Ext_3' (pez/2)	GCATTAGTGTTAGCCTCTGTT	58.4	1.2	-3.1	GC CP	7	6	0
q) Ext_3' (pez/3)	GTTCTGTAGCTCCRCCCAAT	62.1	2.4	-6.3	AGCT TCGA	9	2	1
r) Ext_3' (pez/4)	TTACAGTGGTGCTAAGCAAT	58.4	-1.4	-6.6	TGCT ACGA	6	6	0
s) Ext_3' (pez/6)	TGAAATAAAGTGTGTTCAATC	54.7	-1.1	-5.4	TGAA ACTT	9	4	2
u) Ext_3' (ave/1)	AGAGCAACTGCACCATCTGAG	64.0	0.2	-6.9	TGCA ACCT	3	3	0

\* Las degeneraciones se encuentran subrayadas y el iniciador resaltado resulta ser casi el mismo que Art3' de artiodáctilos obtenido por la metodología tradicional. † Máxima energía de estructura intramolecular. ‡ Máxima energía intermolecular. †† Secuencia que ocasiona el máximo de estas energías. ‡‡ Número de secuencias positivas "in silico" usando MaxPrime. ††† Número de secuencias que también fueron positivas es BLAST. †††† número de positivos de otras secuencias no relacionadas. \*\* Las energías (ΔG's) están en Kcal/mol.

\*\* La consulta consistió de 13nt del extremo 3' y sin el parámetro "q" y con 100 de expectación en Blast.

†† Sin los parámetros "q" y "e" en Blast.

Obtención de nuevas genes de la hormona del crecimiento (GH) en vertebrados

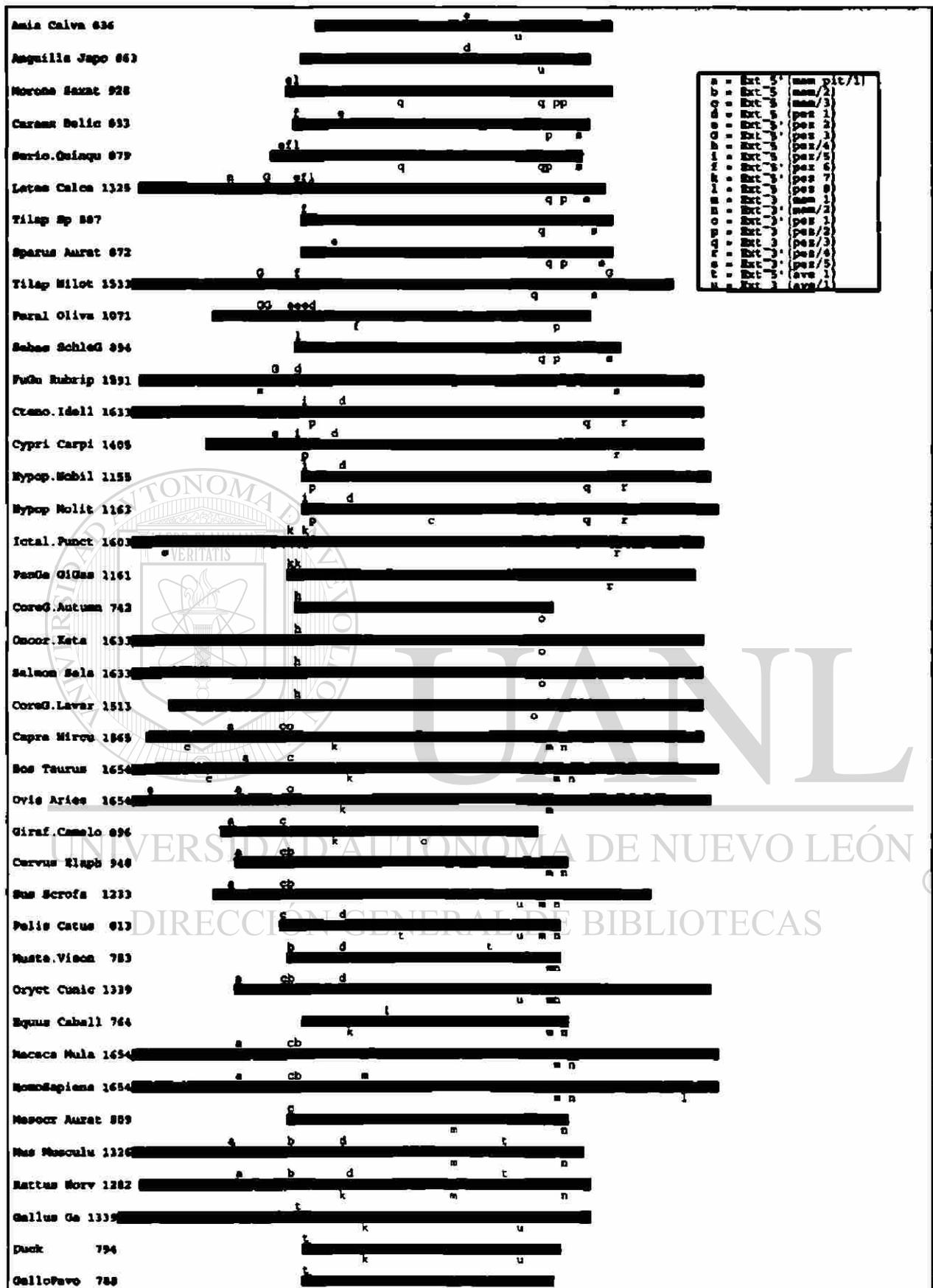


Figura 4.14 Mapa de las posiciones de apareamiento de los iniciadores para GH en vertebrados. Los recuadros representan la secuencia y el tamaño proporcional del gen de la GH en cada especie. Se consideraron cuando mucho 500nt arriba y debajo de CDS y se alinearon con respecto de codón de terminación. Cada iniciador se simbolizó con una letra. Cada carácter (posición) representa 20.75nt.

Obtención de nuevos genes de la hormona del crecimiento (GH) en vertebrados



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

## 4.7 Comprobación del Juego de Iniciadores Diseñado para Artiodáctilos

### 4.7.1 Amplificación por PCR en Artiodáctilos

En la Figura 4.20 se muestran los DNAG de cabra, puerco, vaca, búfalo americano, oveja, jirafa y cebrá usados en las reacciones de PCR, se aprecia en general un buen estado del DNAG en todas las especies excepto en búfalo americano donde se observa una considerable degradación del DNAG.

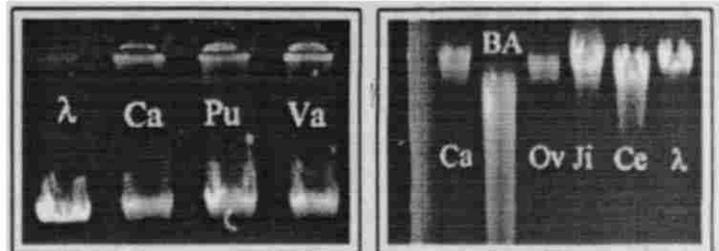


Figura 4.20 Gel de DNAG usados. (Izquierda) DNAG fago  $\lambda$ , cabra, puerco y vaca. (Derecha) DNAG de cabra, búfalo americano, oveja, jirafa, cebrá y fago  $\lambda$ .

El tamaño del amplicón esperado para cabra es de 1721pb y en la Figura 4.21 se puede ver que el amplicón de cabra corresponde a un tamaño aproximado de 1737pb. Los tamaños de los amplicones esperados para oveja y cerdo son 1719pb y 1669pb respectivamente. En la Figura 4.22 se logra ver que los amplicones de cabra y oveja aparentan ser del tamaño esperado, sin embargo, en cerdo, no es claro que las bandas alrededor de la banda de 1615pb del marcador central corresponden o no al producto de la GH de cerdo. Asimismo se puede ver que los cambios en la concentración de  $MgCl_2$

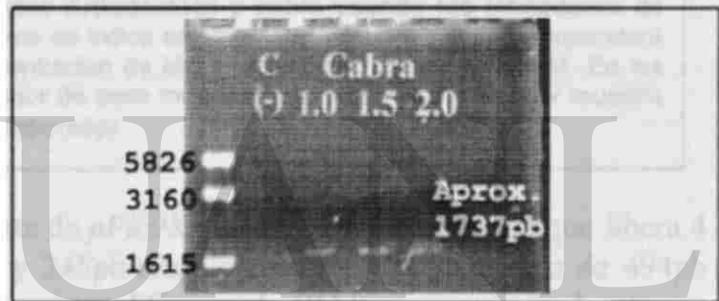


Figura 4.21 Cálculo del tamaño del amplicón de cabra. Se muestran pbsht-3-Sma I, C (-), amplicones de cabra a 1.0mM  $MgCl_2$ , 2.0mM  $MgCl_2$  y 2.0mM  $MgCl_2$  generados a una temperatura de apareamiento de 61°C. Se midió la distancia en píxeles (puntos gráficos) desde el inicio del carril hasta la mitad del largo de cada banda. Se calculó el ajuste lineal usando el  $\log_{10}$  de las distancias y el  $\log_{10}$  de los tamaños del marcador (carril izquierdo) cuyo coeficiente de correlación fue de 0.99. El tamaño calculado de las bandas fue de 1737pb que es muy cercano al tamaño esperado de 1721pb.

no mejoran la especificidad en cerdo aunque se aprecia una mejoría en la intensidad y por lo tanto una mejoría en la amplificación. Adicionalmente se observan los amplicones de jirafa y búfalo americano que por comparación del tamaño con cabra y oveja parecen corresponder a su GH; la degradación del DNAG en búfalo americano parece no estar alterando la reacción. Aunque cebrá no es parte del orden Artiodáctilos sino de los Perisodáctilos, por su cercanía evolutiva creíamos posible la obtención de su GH con el mismo juego de iniciadores. En la misma Figura 4.22 se aprecian bandas no específicas, siendo las de mayor intensidad las bandas cercanas a un producto de un tamaño alrededor de los esperados. Considerando que no hay ninguna secuencia genómica de la GH de algún Perisodáctilo, entonces, no se puede descartar la posibilidad de que se haya amplificado la

GH de cebra en este ensayo; se puede ver también, que la mejor intensidad se obtiene a una concentración de  $MgCl_2$  de 2.5mM tanto en cebra como en cerdo.

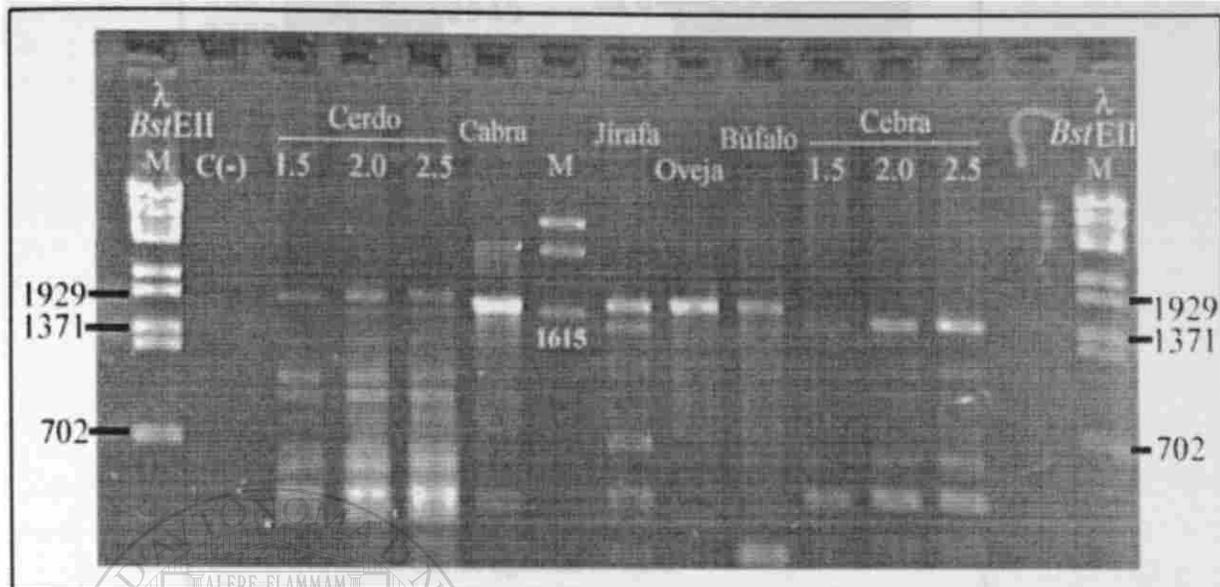
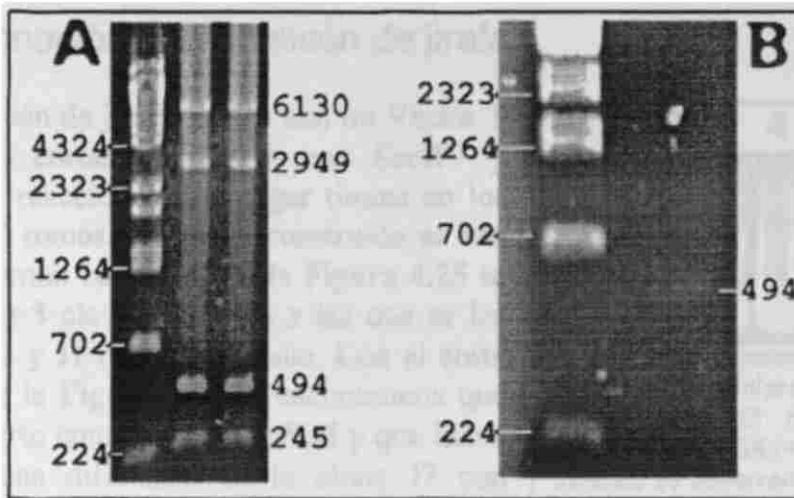


Figura 4.22 Productos amplificados de varios Artiodáctilos y cebra usando los iniciadores de Artiodáctilos. La reacción se llevó a cabo como se indica en Material y Métodos y a una temperatura de 58°C. En cerdo y cebra, se tituló la concentración de  $MgCl_2$  en 1.5mM, 2.0mM y 2.5mM. En los extremos se muestran los tamaños del marcador de peso molecular. Al centro otro marcador muestra una banda de 1615pb cercana a los tamaños esperados.

En la Figura 4.23-A se observa el corte de *pPic9KbGH* con la enzima *PvuII* que libera 4 fragmentos de 6130pb, 2949pb, 494pb y 245pb respectivamente. El fragmento de 494pb corresponde a la mayor parte de la secuencia codificante de GH bovina casi en el extremo 3', y en la Figura 4.23-B se puede ver la misma banda ya purificada.

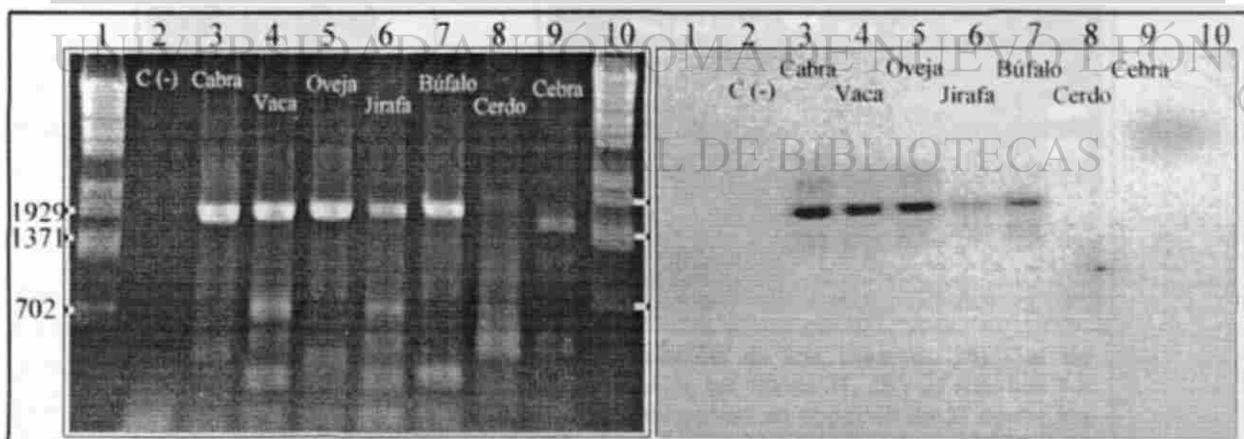
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



**Figura 4.23 Purificación del fragmento a utilizar como sonda.**  
**A)** Corte de *pPic9KbGH* con *PvuII*; el primer carril corresponde a un marcador de peso molecular que flanquea el fragmento de 494pb; se muestran los tamaños correspondientes esperados de los fragmentos. Gel de agarosa al 0.8%. **B)** Purificación del fragmento; se muestra el fragmento purificado flanqueado por el mismo marcador. Gel de agarosa al 1.6%

En la **Figura 4.24** se observa que los amplicones de cabra, vaca, oveja, jirafa y búfalo americano hibridan muy bien con la sonda construida a partir del fragmento de 494pb de una región codificante de la GH bovina. Se concluye que los amplicones de jirafa y búfalo americano deben corresponder sus GHs, no obstante, en cerdo y cebra no se observa hibridación alguna, concluyendo que ninguno de los amplicones de ambas especies corresponde a sus GHs.



**Figura 4.24 Hibridación de los amplicones con el fragmento de bGH de 494pb.** (Izquierda) Gel de agarosa con los amplicones de Artiodáctilos y cebra. La reacción de PCR se llevo a cabo como se explica en Material y Métodos usando 59.5°C como temperatura de apareamiento y 1.5mM de  $MgCl_2$ , excepto en cerdo y cebra en los que se usó 2.5mM de  $MgCl_2$ . (Derecha) Autorradiografía del mismo gel después de la hibridación con la sonda de 494pb extraída de una parte de la secuencia de bGH clonada en *pPic9KbGH*.

### 4.7.2 Clonación del Amplicón de jirafa

El amplicón de jirafa se ligó con un Vector T generado al cortar pBSII-SK+ con *EcoRV* y haciendo la reacción para agregar timina en los extremos 3' romos. El vector construido se usó para transformar bacterias. En la Figura 4.25 se observan las 3 clonas de jirafa a las que se les llamó J5, J7 y J1 respectivamente. Con el corte con *NciI* de la Figura 4.26-A encontramos que nuestro inserto contenía el sitio *NciI* y que había al menos una diferencia en la clona J7 con respecto de J1 y J5. La diferencia podría deberse a una mutación puntual introducida en la reacción de PCR o a una dirección opuesta del inserto con respecto de las otras dos clonas. Para resolver ésta incógnita, realizamos cortes a las tres clonas con la enzima *PvuII* tal como se muestra en la Figura 4.26-B, donde se ve muy claro que al eliminar el sentido del inserto cortando previamente con *XhoI* y *EcoRI*, J1, J5 y J7 aparentan ser clonas con el mismo inserto, solo que J7 con un inserto en sentido opuesto relativo a las otras dos.

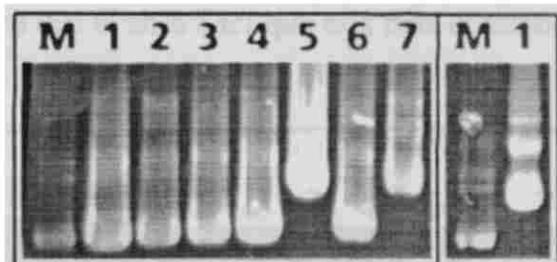


Figura 4.25 Minipreps de las colonias recolectadas. El marcador (M) es el plásmido pBSII-SK (+). Por el retraso de las bandas, se observan claramente 3 clonas (carril 5 y 7 del gel de la izquierda y carril 1 del gel de la derecha) con inserto a las que se les denominó J5, J7 y J1 respectivamente.

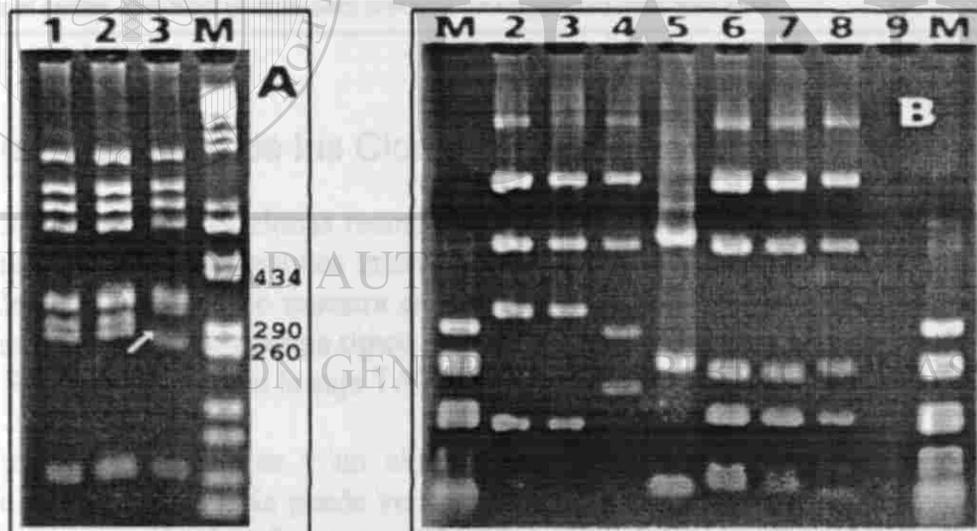
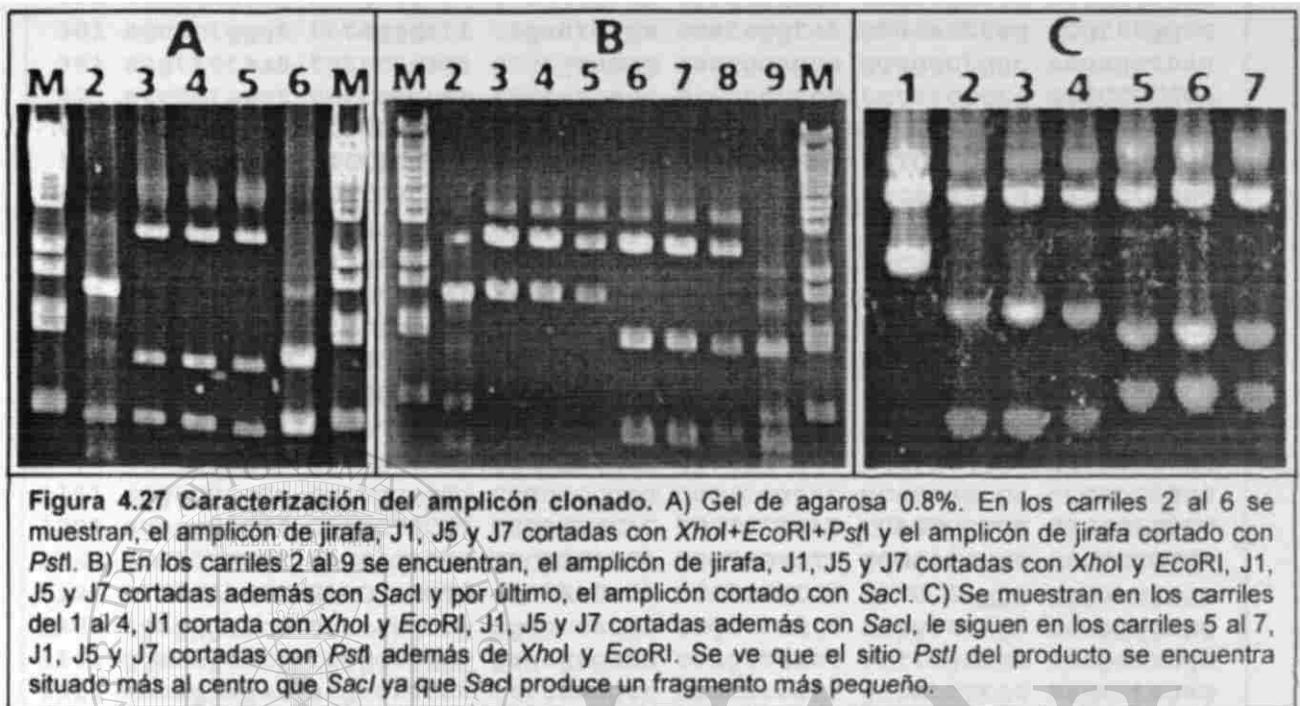


Figura 4.26 Caracterización y Determinación de los Insertos. A) Gel de agarosa al 2% mostrando los cortes con *NciI* de las clonas J1, J5 y J7 (carriles 1, 2 y 3 respectivamente). La flecha indica una diferencia en el patrón de J7 contra las otras dos. B) Gel de agarosa al 1.6%. Los carriles 2 al 4 son cortes con *PvuII* de las clonas J1, J5 y J7 respectivamente, se observa una diferencia en J7 con respecto de los otros dos patrones. El carril 5 muestra un corte del amplicón de jirafa con *PvuII* el cual coincide con las tres clonas cortadas con *PvuII* a las que previamente se les eliminó el sentido cortando con *XhoI* y *EcoRI* (carriles 6 al 9).

En la Figura 4.27-A podemos observar que el inserto contiene un sitio *Pst*I. En la Figura 4.27-B vemos que el inserto contiene también un sitio *Sac*I, además, en la Figura 4.27-C se muestra que el sitio *Pst*I está más al centro que el sitio *Sac*I que está más cercano a alguno de los extremos.



### 4.7.3 Secuenciación de las Clonas Recombinantes de jirafa

Se secuenciaron las tres clonas recombinantes obtenidas usando tanto oligonucleótidos comerciales como oligonucleótidos internos y los iniciadores Art-5' y Art 3'. La secuencia y las señales importantes<sup>‡</sup> se muestra en la Figura 4.28. Se observa que los extremos de los intrones coinciden con sistema típico del par de binucleótidos GT-AG para la remoción intrónica. Se muestra también la caja TATA y el inicio de transcripción.

La secuencia aminoacídica y un alineamiento con las GH de otros artiodáctilos se muestra en la Figura 4.29. Se puede ver la alta similitud de la hormona de crecimiento de jirafa con otros artiodáctilos. Con vaca es la especie con la que tiene mejor similitud (98%) y la peor similitud es con cerdo (88%). Solo tiene 4 diferencias con respecto del consenso. No se observan inserciones ni deleciones.

<sup>‡</sup> La secuencia 5' no codificante (UTR) fue obtenida por dos clonas adicionales donde se usó un iniciador que se aparea alrededor de 210pb arriba del codón de iniciación en una región regulatoria para el factor transcripcional Pit-1.

1	ccccgggct	gcaggaattc	gattggaggg	aattctaat	tatccattag	cacaggctac
61	cagtggctct	tgataaatg	tatagagcgc	acaggtggag	ggaaagggag	agagagaagg
121	<u>gtataaaag</u>	ggcccagcag	ggaccaattc	<u>caggatccaa</u>	<u>ggaoocagtt</u>	<u>caocagaoga</u>
181	<u>etcagggtoe</u>	<u>tgtggaeege</u>	<u>tcaccagota</u>	<u>TGATGGCTGC</u>	<u>AGgttaagctc</u>	<u>gctaaaatcc</u>
241	cetccagctt	aacgtgtcct	aaaggggtga	tgtggggggc	ctgctgatgg	atggggacac
301	agctctgggt	tttagggctt	ctgaatgtga	acataggtat	ctacactcag	acgtttggcc
361	aagttttaaa	tgttctcagt	ccctggaggg	aagggcagga	gggggctggc	aagagatcag
421	gtgtctagct	ccctgggccc	ctctgtcacg	gccctcctgg	tctctcccta	<u>gCCCCCGGA</u>
481	<u>CCTCCCTGCT</u>	<u>CCTGCCCTTC</u>	<u>GCCCTGCTCT</u>	<u>GCCTGCCCTG</u>	<u>GACTCAGATG</u>	<u>GTGGGCGCCT</u>
541	<u>TCCCAGCCAT</u>	<u>GTCTCTCTCC</u>	<u>GCCCTGTTTG</u>	<u>CCAACGCTGT</u>	<u>GCTCCGGGCT</u>	<u>CAGCACCTGC</u>
601	<u>ATCAGCTGGC</u>	<u>TGCTGACACC</u>	<u>TTCAAAGAGT</u>	<u>TTgttaagctc</u>	<u>cccagggatg</u>	<u>catcctaggg</u>
661	gtggggaggg	aggaaggggt	gaatccgcgc	cccctccaca	tagtgggggg	aaactgagga
721	gctcagaggt	attttatcca	aatgaggatg	cggtcagggg	agcagaaatg	gggctgtgtg
781	gggtggggag	ggtttcaaat	aaggcagtga	ggggaaccgc	gcaccaactt	agacctgggt
841	gggtgtgttc	ttccccagg	<u>AGCGCACCTA</u>	<u>CATCCCAGAG</u>	<u>GGACAGAGAT</u>	<u>ACTCCATCCA</u>
901	<u>GAACACCCAG</u>	<u>GTTCCTTCT</u>	<u>GCTTCTCCGA</u>	<u>AACCATCCCC</u>	<u>GCCCCACCG</u>	<u>GCAAGAACGA</u>
961	<u>GGCCAGCAG</u>	<u>AAATCAgtga</u>	gtggccacct	aggaccgagg	agcaggggac	ctccttcac
1021	ctaagtaggc	tgccccagct	ttccacaccg	ggcctggggc	ggccttctcc	ccgaggtggc
1081	agaggggtgt	ggatggcagt	ggaggatgac	ggttggcggg	ggtaggcagga	ggtcctccgg
1141	cagagggccga	ccttgcaggg	ccgccccgag	cccgcggcac	ccaccgacca	cccatctgcc
1201	agcag <u>GACTT</u>	<u>GGAOCTGCTT</u>	<u>CGCATCTCAC</u>	<u>TCCTCCTCAT</u>	<u>CCAGTCGTGG</u>	<u>CTCGGACCCC</u>
1261	<u>TGCAGTTCTT</u>	<u>CAGCAGAGTC</u>	<u>TTCAGCAACA</u>	<u>GCCTGGTGTT</u>	<u>TGGCACCTCG</u>	<u>GACCGCGTCT</u>
1321	<u>ATGAGAACT</u>	<u>GAAGACCTG</u>	<u>GAGGAAAGCA</u>	<u>TCCTGGCCCT</u>	<u>GATGCGAgtg</u>	gggatggcgt
1381	tgtgggtccc	ttccacgctg	ggggccatgc	cgcctctc	ctggcttagc	ccaggggtgg
1441	ggaacgcacg	tggggtgggg	gagagagaaa	cctgctctct	ctctagcagt	ccagccttga
1501	cccaggagaa	acgttttccc	cttttaagtc	ctccctctc	gcccttctcc	aagcctagag
1561	gggaggggtg	aaaatggagc	gggcaggagg	aagcctctct	tgagggctct	tggcctctc
1621	tgtctcttcc	tccttggcg	gdAGCTGGAA	GATGGCACCC	CCCCGGCTGG	GCAGATCCTC
1681	<u>AAGCAGACCT</u>	<u>ATGACAAATT</u>	<u>TGACACGAAC</u>	<u>ATGCGCAGTG</u>	<u>ACGACCCGCT</u>	<u>GCTCAAGAAC</u>
1741	<u>TACAGGCTGC</u>	<u>TCTCCTGCTT</u>	<u>CCGGAAGGAC</u>	<u>CTGCACAAGA</u>	<u>CAGAGACGTA</u>	<u>CCTGCCGGTTC</u>
1801	<u>ATGAAAGTGT</u>	<u>GCCGCTTCGG</u>	<u>GGAGGCCAGC</u>	<u>TGCGCCTTCT</u>	<u>AGTtgccagc</u>	<u>catctgttgt</u>
1861	taccctctc	ctgtg	1875			

Figura 4.28 Secuencia de DNAg de la GH de *Giraffa Camelopardalis* (jcGH). La secuencia codificante se muestra resaltada, en mayúsculas y es hipotética, se obtuvo por comparación con la secuencia de *Bos Taurus* (vaca). El par de binucleótidos gt y ag en los extremos de los intrones se muestra subrayado. Tanto la caja tata (en color y doble subrayado) como la región 5' no codificante (en color y punteada) son hipotéticos y se obtuvo por comparación con la secuencia de *Capra Hircus* (cabra)

Obtención de nuevos genes de la hormona del crecimiento (GH) en vertebrados

1	MMAAGPRTSL	LLAFALLCLP	WTQMVGAFFA	MSSSGLFANA	VLRAQHLHQL	AADTFKEFER
61	TYIPEGQRYs	IQNTQVAFCF	SETIPAPTgK	NEAQKSDLE	LLRISLLLIQ	SWLGPLOFLS
121	RVFSNSLVFG	TSDRVYEKLK	DLEEGILALM	RELEDGTPRA	GQILKQTYDK	FDTNMRSDDA
181	LLKNYRLLS	FRKDLHKTET	YLRVMKCRRF	GEASCAF	217	
Consensus	MMAAGPRtS1	LLAFaLLCLP	WTqvVGAFPA	Ms1SgLFANA	VLRAQHLHQL	AADTFKEFER
CapraHir	1	.....T.....	.....	.....	.....	.....
BosTauru	1	.....	.....	.....	.....	.....
BubalusA	1	.....T.....	.....	.....	.....	.....
OvisArie	1	.....T.....	.....	.....	.....	.....
GiraffaC	1	.....	.....M.....	.....S.....	.....	.....
CervusEl	1	.....A.....	.....E.....	.....	.....	.....
SusScrof	1	.....A.....	.....RE.....	.....P.....S.....	.....	.....Y.....
Consensus	tYIPEGQRYs	IQNTQvAFCF	SETIPAPTgK	NEAQKSDLE	LLRISLLLIQ	SWLGPLOFLS
CapraHir	61	.....	.....	.....	.....	.....
BosTauru	61	.....	.....	.....	.....	.....
BubalusA	61	.....	.....	.....	.....	.....
OvisArie	61	.....	.....	.....S.....	.....	.....
GiraffaC	61	.....	.....	.....	.....	.....
CervusEl	61	.....	.....	.....	.....	.....
SusScrof	60	A.....	.....A.A.....	.....D.....R.....V.....	.....F.....	.....V.....
Consensus	RVFtNSLVFG	TSDrVYEKLK	DLEEGILALM	RELEDgtPRA	GQILKQTYDK	FDTNMRSDDA
CapraHir	121	.....	.....	.....V.....	.....	.....
BosTauru	121	.....	.....	.....	.....	.....
BubalusA	121	.....	.....	.....V.....	.....	.....
OvisArie	121	.....	.....L.....	.....V.....	.....	.....
GiraffaC	121	.....S.....	.....	.....	.....	.....
CervusEl	121	.....	.....	.....	.....	.....
SusScrof	120	.....	.....	.....Q.....	.....S.....	.....L.....
Consensus	LLKNYgLLS	FRKDLHktET	YLRVMKCRRF	gBaSCAP		
CapraHir	181	.....	.....	.....	.....	.....
BosTauru	181	.....	.....	.....	.....	.....
BubalusA	181	.....	.....	.....	.....	.....
OvisArie	181	.....	.....	.....	.....	.....
GiraffaC	181	.....R.....	.....	.....	.....	.....
CervusEl	181	.....	.....	.....	.....	.....
SusScrof	180	.....	.....K.....A.....	.....	.....V.....S.....	.....

	Cap	Bos	Bub	Ovi	Gir	Cer	Sus	
	1	2	3	4	5	6	7	
CapraHir	1	100	99	100	99	97	98	89
BosTauru	2	99	100	99	98	98	99	90
BubalusA	3	100	99	100	99	97	98	89
OvisArie	4	99	98	99	100	96	97	88
GiraffaC	5	97	98	97	96	100	97	88
CervusEl	6	98	99	98	97	97	100	90
SusScrof	7	89	90	89	88	88	90	100

Figura 4.29 Comparación aminoacídica de la secuencia de jcGH. El alineamiento se realizó usando CLUSTALW. Un punto (.) en la secuencia significa conservación con la secuencia consenso. En la secuencia consenso, una mayúscula indica conservación en todas las secuencias.

## Capítulo 5

### Discusión

Para hacer reconstrucciones evolutivas de las especies, la Paleontología, la Embriología y la Bioquímica han estado proporcionando datos muy importantes. Sin embargo, las secuencias de DNA ahora constituyen otra fuente para las reconstrucciones filogenéticas de las especies. La hormona del crecimiento (GH) que se ha encontrado en todos los vertebrados estudiados a la fecha, fue nuestro modelo a estudiar. Las GH reportadas a la fecha llegan a alrededor de 56 en secuencias nucleotídicas completas más 26 en secuencias aminoacídicas. Con nuevas secuencias de GH de especies de ordenes no estudiados, se podrían hacer mejores reconstrucciones filogenéticas. En este trabajo nos propusimos analizar la información de las secuencias reportadas de GH en diferentes especies para proponer herramientas que ayuden a obtener la secuencia de DNA de GH de otras especies. Obviamente, un objetivo implícito de nuestro trabajo fue generalizar la metodología hacia el estudio de otras secuencias génicas. Las herramientas que proponemos son, iniciadores para amplificar por PCR el gen de GH y una sonda para tamizar bancos genéticos. La metodología usada para obtener los iniciadores y la sonda, la generalizamos para cualquier secuencia genética y facilitamos el análisis por automatización del proceso, desarrollando programas de computadora.

#### 5.1 Obtención y Comparación de Secuencias de GH

Al analizar los datos obtenidos de la cantidad de secuencias reportadas por clase, el 62% de las secuencias reportadas es de peces y el 28% de los mamíferos, únicamente un 10% de las secuencias proviene de anfibios, reptiles, aves y marsupiales. Confirmamos entonces, la tendencia de interés económico-industrial más que evolutivo.

La exclusión de pato y atún en el proceso de búsquedas de secuencias, dan una alerta que tanto el proceso de filtrado como el de obtención de los informes, son muy importantes y aunque son aparentemente sencillos, la realidad es que son complicados. La consulta ("query") se efectuó únicamente sobre los nombres de proteínas, ya que el número de informes en todos los términos era astronómicamente alto. La consulta realizada en GenBank fue demasiado compleja, problema derivado por los múltiples nombres que se le da a nuestra proteína si consideramos que básicamente se le conoce como "Hormona del Crecimiento" y "Somatotropina". No hay una norma para nombrar a las proteínas que ingresan al GenBank (o al menos no se sigue o revisa) y combinado con la imposibilidad en GenBank de hacer búsquedas "menos restringidas", el problema se hace aún más grave.

Encontramos que la GH está más conservada en vertebrados superiores que en peces. Si comparamos las dos zonas con más parecido en la matriz de alineamiento de la Figura 4.1, la zona de mamíferos se aprecia mayor, aún cuando la cantidad de secuencias reportadas de

la GH en mamíferos es menor relativa a peces. Podría pensarse que el área mayor en mamíferos es debida principalmente a la cercanía de las especies mas que a la diversificación de ellas, como sucede en peces; y por lo tanto podríamos estar induciendo información por un "efecto" producido por el propio conjunto de datos. Pero, podemos ver que en animales superiores representativos de clases como aves, reptiles y marsupiales, la GH es muy parecida entre todos éstos y con mamíferos, contrariamente con lo que sucede en peces. Además, los resultados son congruentes con la idea de que siendo los peces mucho más antiguos que los mamíferos, son los peces los que están más diversificados.

## 5.2 Diseño de la Sonda

La búsqueda del mejor apareamiento considerando diferencias resultó ser exitosa. Algunos autores han usado la *frecuencia de oligonucleótidos* como algoritmo de búsqueda de regiones conservadas. Jacques van Helden (van Helden, 1998) usó exitosamente esta estrategia para encontrar regiones conservadas en secuencias promotoras de genes de levadura, aunque usó únicamente oligonucleótidos de 6 bases de longitud. No obtuvimos resultados satisfactorios bajo una metodología similar. Algunos otros métodos como el de *teoría de la información* empleado por *wconsensus* (Hertz, 1990), resulta muy tardíos cuando el número de secuencias por analizar y/o la longitud de las secuencias crecen, además, depende de un alineamiento global múltiple que complica el proceso (se probó *wconsensus* en una estación de trabajo Sparc de Sun con CPU a 133Mhz con 53 secuencias de alrededor 630pb de la región codificante de las GHs, mismas usadas en este trabajo. El proceso tardó 6 horas aproximadamente y el resultado, que no se muestra aquí, fué una matriz de 186 elementos de ancho indicando una zona "consenso" de 186pb, la región era tan heterogénea que no fue posible distinguir alguna zona conservada; en cambio *MaxProbe* diseñado exclusivamente para este propósito, tardó en el peor de los casos aproximadamente 30 minutos en una PC con CPU Intel-Pentium a 150MHz y el trabajo se reduce prácticamente a escoger algún oligonucleótido de los posibles). El cambio de estrategia a una búsqueda del mejor apareamiento considerando diferencias ("mismatches") resultó ser muy "reveladora", sencilla y rápida, además, el tiempo de cálculo crece linealmente cuando crece el número y tamaño de las secuencias.

En los parámetros de evaluación de la sonda, dimos origen a un concepto que llamamos "encadenamiento", que evalúa el número de nucleótidos consecutivos sin un desapareamiento. Las fórmulas de cálculo de temperaturas consideran desapareamientos, pero no consideran la distribución de éstos. El pensamiento básico que dió origen al "encadenamiento" fue que si tuviésemos dos zonas con el mismo número de desapareamientos pero distribuidos de manera diferente, en alguna de las zonas se pegaría con más fuerza que la otra, aún cuando todos los cálculos de apareamiento y temperatura quedarían iguales; compensamos entonces, a aquella que tiene el "encadenamiento" más extenso. En la fórmula final de evaluación, no se considera un estadístico tipo "media menos dos desviaciones estándar" que se utilizó para evaluar el peor de los casos, ya que la desviación estándar del "encadenamiento" es muy alta, de hecho vimos que la curva de los "encadenamientos" está muy desviada de una curva normal (resultados no mostrados).

En el algoritmo de mejoramiento de una secuencia consenso reportada por *MaxProbe*, solo es tomado en cuenta el apareamiento, aumentando aquellas secuencias que tienen muy bajo apareamiento y por consecuencia aumenta la media y disminuye la desviación estándar. Indirectamente algunos de los otros parámetros son “mejorados”. Sin embargo, en algunos casos, el método introduce un cambio tal que casi ninguna secuencia es igual en esa posición; esto es debido a que la forma de evaluar considera no solo la media sino también la desviación estándar y si algún cambio nucleotídico disminuye la desviación estándar lo suficiente como para que el estadístico *media - 2 desviaciones estándar* sea más alto que el antecesor, el cambio permanecerá. El método implementado aquí, no es un método optimizado para este propósito, sino solo un “acercamiento” a un mejor oligonucleótido. Si tomáramos en cuenta todos los parámetros en todas las posibilidades, el tiempo de cálculo en el mismo algoritmo crecería mucho. Para una búsqueda eficiente en todo el espacio tomando en cuenta todos los parámetros, habría que programar un método de búsqueda de soluciones mucho más complejo como algoritmos genéticos, redes neurales, simulated annealing o algún método montecarlo entre otros y que están muy lejos del alcance de este trabajo.

El analizar solo el 5% superiores de los grupos de mejor apareamiento promedio y mejor apareamiento menos dos desviaciones estándar fue suficiente para nuestro conjunto de datos. De hecho el resultado final no se ve afectado si solo se analiza el 0.5% superior (resultados no mostrados). Ninguno de los programas analiza los datos y determina la suficiencia del 5%, el valor de mínimo es responsabilidad del usuario. Esperaría en general, que las curvas mostradas en la Figura 4.3 representen las curvas típicas del comportamiento de los apareamientos y que la sonda final sea de las que originalmente tienen apareamiento alto; recomendaría usar un 5% en una corrida inicial y un 7.5% en otra corrida de comprobación.

Siete de los once oligonucleótidos reportados inicialmente por *MaxProbe* convergen a la misma secuencia de 42nt al extenderlos y recortarlos en ambos extremos. Solo el oligonucleótido 9 está totalmente inmerso en la secuencia de 42nt; si *MaxProbe* reporta los oligonucleótidos ordenados según el mejor apareamiento, entonces: ¿Por qué el oligonucleótido 9 no es el primero en ser reportado dado que es el único que está totalmente embebido en el oligonucleótido extendido?. Entre toda esta secuencia de 42 nucleótidos debe haber regiones que en promedio aparecen mejor que otras, así al observar la Figura 5.1, la secuencia 1 es la que abarca la mejor zona y por tal motivo es la primera en ser reportada, coincidiendo con la asignación del criterio de búsqueda inicial. Hay que recordar que la generación del índice fue de oligonucleótidos de 32nt y que al extenderlo el resultado es un “mejor” oligonucleótido de 42nt de longitud, que no tiene por qué estar en las mismas posiciones que de los mejores oligonucleótidos de 32nt. Por esto, la estrategia de desplazar y extender los oligonucleótidos fue exitosa. ¿Cómo sabemos cual es el oligonucleótido ideal? Y, ¿De qué tamaño es?. Tendríamos que correr el programa desde un tamaño mínimo, digamos 16, hasta casi la longitud de nuestras secuencias, algo así como 570 y si para cada cálculo se tarda aproximadamente 30 minutos (en nuestro caso), calcular el mejor se tardaría 16,650 minutos ó ¡12 días!, que para un proceso como éste es astronómicamente alto (sin tomar en cuenta requerimientos de espacio físico para almacenar los datos). La solución que aquí se presentó, es hacer un “acercamiento” usando los mejores oligonucleótidos de 32nt de longitud bajo la suposición de que el conjunto de

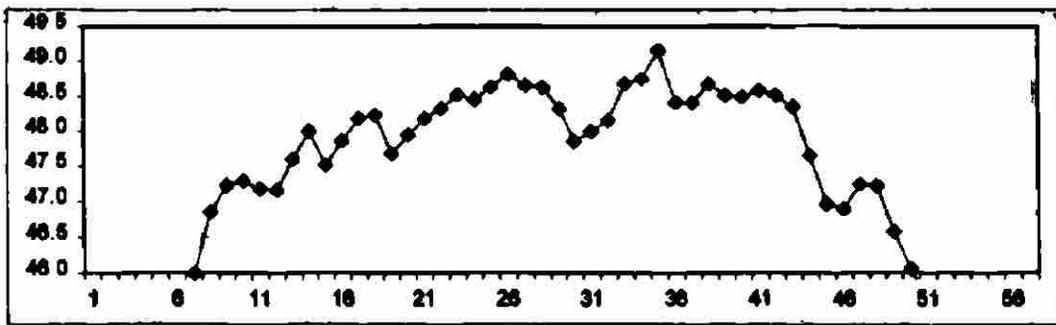


Figura 5.1 Apareamiento promedio de los oligonucleótidos de 32nt de longitud derivados de la sonda final. Calculado con todas las secuencias según Figura 4.5. Desde el punto 32 hasta el 56, se promediaron sumando el número de nucleótidos apareados desde 31 nucleótidos atrás de la posición marcada hasta ésta y dividido entre 32. Desde el punto 1 al 31 se promediaron según el número de nucleótidos disponibles. El punto máximo (posición 34) indica que el mejor apareamiento de 32nt de longitud, es desde la posición 2 hasta la 34 de la secuencia del oligonucleótido final correspondiente al oligonucleótido 1 del conjunto inicial de oligonucleótidos. Coincidiendo con el orden en que MaxProbe reporta los posibles oligonucleótidos.

éstos debe contener o estar cercano al oligonucleótido ideal. Lo cual toma en el peor de los casos, únicamente 30 minutos.

La zona identificada para el diseño de la sonda *GH-Explorer I* se encontró interrumpida por el 5° intrón presente en algunas especies de peces (posición 28 justo a la mitad de la sonda). Aunque es indeseable que el apareamiento de la sonda se encuentre interrumpido por un intrón, dado el bajo número de especies afectadas, se sacrificó la posible disminución del apareamiento en estos peces por aumentar el apareamiento global con todas las demás secuencias que no poseen el 5° intrón. Además, las secuencias de los extremos podrían ser suficiente para obtener una buena hibridación en estas especies. De hecho, tilapia es una especie con un 5° intrón, y no se aprecia decaimiento aparente de la hibridación. Cabe mencionar que tilapia es una de las especies que tienen el encadenamiento más alto (encadenamiento = 40) y aún en presencia del intrón (encadenamiento = 24) es equiparable al encadenamiento con gallo y todavía mejor que ratón.

Los resultados de los ensayos de hibridación de la sonda *GH-Explorer I* mostrados en la Tabla 4.3 (parte derecha), muestran diferencias de apareamiento relativo a gallo, principalmente en mamíferos. En peces los valores se encuentran alrededor de 1 relativo a gallo y tomando en cuenta el error experimental, solo se puede concluir que sí hay hibridación. En humano, el valor relativo es 1.83, era de esperarse un valor menor a 1 dado que el apareamiento con *GH-Explorer I* es 44/56 comparado con gallo que es 51/56, parece que hubiera más genes con los que hibrida. Para ciertas especies como gato y ratón, los valores obtenidos son más altos que los valores esperados. Este resultado podría deberse a problemas de cuantificación y calidad de los DNAG o a la presencia de otro gen con el cual hibrida la sonda.

En la Figura 4.10 se ve que sí hay hibridación con hPL-1, pero es 4 órdenes de magnitud menos y no debería afectar cuantitativamente al resultado; la explicación resulta de analizar el final del informe de BLAST (Anexo 3), donde en humano también se

reportan un gen placentario (hPL-4 ó hCS-3) y la hormona de crecimiento variante (hGH-V ó hCS-5), y de hecho con el mismo "score" que en la GH humana. Entonces el valor se distribuiría aproximadamente igual entre los tres genes ( $1.83 / 3$ ) resultando en 0.61.

### 5.3 Diseño de Iniciadores

Una alternativa al tamizaje de bancos para obtener nuevas secuencias es la amplificación por PCR y diseñamos una serie de iniciadores que podrían amplificar por PCR el gen de GH de vertebrados. En los resultados mostrados en la Figura 4.14 se puede ver que en mamíferos prácticamente se puede usar un par de iniciadores en los extremos. Para aves no se encontró una región conservada en los fragmentos 3' reportados y por lo tanto el diseño se restringió a una región codificante al extremo carboxilo. En reptiles, desgraciadamente no hay secuencias nucleotídicas reportadas y por lo tanto no es posible saber con algo de certeza si pudiera haber amplificación o no. En anfibios, las secuencias nucleotídicas reportadas son regiones codificantes y tampoco es posible saber con certeza si hay amplificación. Sin embargo, dadas las características evolutivas propias de los anfibios, podría haber una combinación de iniciadores satisfactoria como se puede apreciar en el iniciador del extremo 3' diseñado para aves que también aparece en anfibios. En peces, es un poco más complejo dada la diversidad del grupo, un par de iniciadores abarca la mayoría de las especies, pero es recomendable tomar en cuenta la clasificación del pez en cuestión para escoger un par de iniciadores más específicos.

La metodología típica de diseño de iniciadores consenso está basada en alineamientos de múltiples secuencias, cuya labor es excelentemente desempeñada por *CLUSTALW* entre otros. A veces es necesario diseñar iniciadores a los extremos de regiones codificantes (como en parte de este trabajo). Éstas regiones se usan para hacer un alineamiento múltiple (incluyendo en ocasiones, fragmentos codificantes para "sincronizar" las secuencias) y diseñar iniciadores a partir del alineamiento múltiple identificando manual o automáticamente regiones conservadas. Sin embargo, cuando se trata de secuencias no codificantes y de divergencia evolutiva lejana, identificar las regiones conservadas con un alineamiento múltiple, es una tarea minuciosa y de alto conocimiento de las secuencias y especies involucradas. Si se tiene la intuición de que hay una región conservada que está distal en las secuencias, hay que extraer fragmentos de las secuencias y alinearlos con distintas combinaciones hasta encontrar algún fragmento positivo, que si no se encuentra, no se tendría la certeza de que existe. La estrategia de búsqueda utilizada en este trabajo y programada en *MaxProbe* y *MaxPrime*, no es dependiente de la posición dentro de cada una de las secuencias. De esta manera es posible encontrar regiones conservadas que en cada secuencia estén relativamente distales.

En los resultados de *BLAST* de cada iniciador (Tabla 4.4), es clara la diferencia entre el número de especies reportadas como positivas entre *MaxPrime* y *BLAST*. Estas diferencias son debidas al tipo de evaluación que realiza cada programa; en *MaxPrime* se considera

\* Considerando además que se pueda "ver algo" en el alinamiento múltiple, ya que generalmente, las regiones no codificantes son más propensas a la preservación de mutaciones puntuales inserciones y deleciones.

entre otros, el peso proporcional a la posición respecto al extremo 3', en *BLAST*, todas las posiciones tienen el mismo valor, consecuentemente *BLAST* no considera algunas secuencias positivas si hay diferencias en el extremo 5' aunque el extremo 3' aparece bien. Hay que recordar, además, la incapacidad de *BLAST* de hacer búsquedas de secuencias que compartan menos de 7 nucleótidos consecutivos y que pueden salir positivas por el cálculo de iniciabilidad. Es decir, si una secuencia es altamente "iniciable" pero no tiene al menos 7 nucleótidos consecutivos iguales al iniciador, *BLAST* no podría encontrarlo.

En el proceso para probar los iniciadores en una "reacción" virtual de PCR (*in silico*), se usó inicialmente *Amplify 1.2*. Sin embargo, este programa no puede leer diferentes secuencias para distinguir en cada una las posiciones de los iniciadores ni los iniciadores usados. Debido a esto, el usuario debe introducir cada una de las secuencias, probar la reacción, desplegar las posiciones y los iniciadores y adjuntarlas en un informe para su análisis. En total deberían probarse poco más de 60 secuencias, proceso bastante tedioso, cansado y propenso a errores. Por tal motivo, se elaboró un programa llamado VPCR (Virtual PCR) inspirado en la misma metodología usada en *Amplify 1.2* que hace todo el trabajo en unos cuantos segundos. Los resultados de VPCR en al menos 5 secuencias se validaron usando *Amplify 1.2*. Aún así, en el texto se menciona a *Amplify 1.2* como la herramienta computacional utilizada debido a que es el propio proceso usado en *Amplify 1.2* el que está validado. VPCR simplemente se usó para facilitar el proceso de redacción.

Se diseñaron iniciadores para amplificar teóricamente el gen de GH de cualquier vertebrado. Adicionalmente si la amplificación no es posible, se puede utilizar la sonda *GH-Explorer I* para tamizar bancos de DNA. Sin embargo, siempre existe la posibilidad, aún contando con ambas herramientas, de no obtener la secuencia de DNA de la GH de algún vertebrado (¡precisamente con el que uno trabaja!, tal y como la predice la ley de Murphy). Para minimizar esta posibilidad y aprovechando las herramientas desarrolladas en este trabajo (*BioCode Explorer*, *MaxProbe*, *MaxPrime* y *VPCR*), se diseñaron iniciadores "internos" a la secuencia codificante de la GH incluidos en el Anexo 4. Todas estas herramientas pueden utilizarse, primero, para el análisis de cualquier otro grupo de secuencias agilizando el tratamiento de los informes del *GenBank* y segundo, facilitando el diseño de una sonda y de iniciadores consenso.

## 5.4 Importancia de la Región Conservada en el Exón 5 de GH

Durante el trabajo sobre la sonda de la GH, afortunadamente fue posible obtener una sola secuencia conservada dentro de todas las secuencias codificantes de la GH de las especies, consecuentemente, surge una pregunta interesante: ¿Cuál es la importancia de esta región como para ser la única altamente conservada?. De las dos regiones que tienen interacción con los receptores de la GH (GHR), la región del exón 5 de la GH es la que tiene más interacción (Souza y cols., 1995). Para ver las diferencias en la región, hicimos la traducción de la sonda *GH-Explorer I* en los tres marcos de lectura, se tomó el más parecido a las secuencias y se efectuó un alineamiento cuyo resultado se muestra en la Figura 5.2. Se observa también, que la zona conservada es la misma región donde se

encuentran dos de las cuatro cisteínas (C) típicas en las GH. Se sabe que éstas forman cistinas y son muy importantes para la conformación que adopta la proteína (Santomé y cols., 1973). Por lo tanto, no es una coincidencia que la sonda englobe las dos cisteínas centrales de la GH. Tal parece que las cisteínas flanquean y le dan la estructura tridimensional a esta región como si fuera la "combinación" que abre la "cerradura" del receptor (al menos en el plegamiento nativo ya que Graf y cols. en 1975 comprobaron que si se elimina el enlace disulfuro en BGH, la actividad biológica no se pierde). En peces, solo unos cuantos tienen una diferencia con respecto al consenso entre ellos, contrario a lo que sucede en vertebrados superiores donde las diferencias incrementan. Si comparamos las diferencias aminoacídicas y nucleotídicas, en peces hay variación en la secuencia nucleotídica, pero no en la aminoacídica, es decir, las mutaciones preservadas son únicamente mutaciones sinónimas. En general en esta región en vertebrados superiores también se observa esta tendencia de mutaciones sinónimas, por ejemplo, en primates y artiodáctilos, hay un cambio de una lisina (K) muy conservada hacia una arginina (R), ambos siendo aminoácidos básicos. Específicamente en esta región de la secuencia aminoacídica, la GH está más conservada en peces que en vertebrados superiores, contrastando con el alineamiento total ya discutido, donde la secuencia total de GH aparenta estar más conservada en vertebrados superiores que en peces. Como esta región está involucrada en la unión al receptor, una posible causa a este comportamiento es que el receptor de la GH en peces no haya ido mutando junto con la GH y que en vertebrados superiores el receptor de la GH sí fue cambiando con la GH. Hay estudios realizados donde se demostró que la GH bovina es funcional en peces, sin embargo, la GH de peces no es funcional en bovinos (Juskevich, 1988); nuestra hipótesis explicaría este caso, suponiendo que el receptor en bovinos fue mutando junto con la GH y se hicieron más específicos entre ellos, el receptor bovino podría ser incapaz de detectar la señal de la GH de un pez. Por el contrario, como el receptor en peces no mutó, los cambios en la GH bovina no fueron suficientes como para no ser detectado. Además es bien conocido que humanos y monos responden únicamente a hormonas derivadas de primates, pero la GH de primates es totalmente funcional en otros mamíferos y se ha demostrado también, que una Arg<sup>43</sup> en GHR humana (hGHR) es la responsable de la especificidad del GHR de primates por hGH (Souza y cols., 1995) y que una mutación a Asp<sup>171</sup> en la GH de primates es la responsable de la especificidad por el GHR en primates (Behncken y cols., 1997). Estos dos últimos trabajos siguen apoyando la hipótesis. Aún así, si suponemos correcta nuestra hipótesis, queda una duda, si el receptor en peces no mutó y es capaz de detectar una señal de una GH bovina mutada con respecto de la propia, ¿Por qué entonces la GH en peces no mutó en esta región?. Una de las posibles causas es que el receptor de la GH en peces no es específico para la GH, de ser así, todas las moléculas "reconocidas" por el receptor tendrían que mutar convergentemente. Este hecho tiene una probabilidad muy baja de presentarse, favoreciendo a que ni el receptor ni la GH muten. Desgraciadamente no hay ni una sola secuencia del GHR en peces reportada<sup>†</sup> que pueda afectar la hipótesis. Otra posible causa sería la duplicación del receptor en animales superiores, aunque de igual manera no hay información al respecto. El dominio más conservado que en general describe esta región para todas las especies excepto primates es: CFxKDxHxETYxLxVxxC.

<sup>†</sup> Hasta el 4 de Enero de 1999 en la base de datos *GenBank*.

GH-ExplorerI	ACFKKDMhKVeTYLrVMK	C	taa	ant
Consensus	11 aCFKkDmhKveTylevak	Crresp	taa	ant
TILAPIAM	.....T.A.....L..	.....L..	89	
MORONESA	.....T.A.....L..	.....L..	89	84
CARANXD	.....T.A.....L..T	.....L..T	89	86
SERIOLA	.....T.A.....L..	.....L..	89	86
SERIOLA	.....T.A.....L..	.....L..	89	86
LATESCA	.....T.A.....L..	.....L..	89	88
TILAPIA	.....T.A.....L..	.....L..	89	88
TILAPIA	.....T.A.....L..	.....L..	89	88
CORYPHA	.....T.A.....L..	.....L..	89	86
DICENTR	.....T.A.....L..	.....L..	89	82
LATEOLA	.....T.A.....L..	.....L..	89	82
ACANTHO	.....T.A.....L..	.....L..	89	82
SPARUSA	.....T.A.....L..	.....L..	89	84
ACANTHO	.....T.A.....L..	.....L..	89	
CHRYSOP	.....T.A.....L..	.....L..	89	
EUTHYNN	.....T.A.....L..	.....L..	89	
THUNNUS	.....T.A.....L..	.....L..	89	
THUNNUS	.....T.A.....L..	.....L..	89	
PARALIC	.....T.A.....L..	.....L..	89	82
HIPPOGL	.....T.A.....L..	.....L..	89	
PSEUDOP	.....T.A.....L..	.....L..	89	
SOLEASE	.....T.A.....L..	.....L..	89	82
SEBASTE	.....T.A.....L..	.....L..	89	86
SEBASTI	.....T.A.....L..	.....L..	89	82
FUGURUB	.....T.A.....L..	.....L..	89	80
GADUSMO	.....T.A.....L..	.....L..	89	
GADUSMO	.....T.A.....L..	.....L..	89	
ESOXLUC	.....T.A.....L..	.....L..	89	
COREGON	.....T.A.....L..	.....L..	89	86
ONCORHY	.....T.A.....L..	.....L..	89	88
ONCORHY	.....T.A.....L..	.....L..	89	88
ONCORHY	.....T.A.....L..	.....L..	89	86
SALAOSA	.....T.A.....L..	.....L..	89	89
COREGON	.....T.A.....L..	.....L..	89	89
CARASSI	.....T.A.....L..	.....L..	89	84
CTENOPH	.....T.A.....L..	.....L..	89	
CYPRINU	.....T.A.....L..	.....L..	89	84
ABRAMIS	.....T.A.....L..	.....L..	89	
A HYPOP	.....T.A.....L..	.....L..	89	84
B HYPOP	.....T.A.....L..	.....L..	89	84
PANGASI	.....T.A.....L..	.....L..	83	84
PANGASI	.....T.A.....L..	.....L..	83	84
ACIPENSE	.....T.A.....L..	.....L..	89	
AMIACALV	.....T.A.....L..	.....L..	89	89
PRIONAC	.....T.A.....L..	.....L..	89	
LEPISOST	.....T.A.....L..	.....L..	94	84
ANGUILLA	.....T.A.....L..	.....L..	89	86
XENOPUS	.....T.A.....L..	.....L..	89	88
RANACAT	.....T.A.....L..	.....L..	89	88
ANASPLA	.....T.A.....L..	.....L..	83	
MELEAGR	.....T.A.....L..	.....L..	83	
GALLUSG	.....T.A.....L..	.....L..	83	91
CROCODY	.....T.A.....L..	.....L..	77	
CHELONI	.....T.A.....L..	.....L..	77	
CANISFA	.....T.A.....L..	.....L..	83	86
VULPESV	.....T.A.....L..	.....L..	83	
ALOPEXL	.....T.A.....L..	.....L..	83	
FELISCA	.....T.A.....L..	.....L..	83	89
MUSTELA	.....T.A.....L..	.....L..	83	88
BALAENO	.....T.A.....L..	.....L..	83	
ORYCTOL	.....T.A.....L..	.....L..	83	89
EQUUSCA	.....T.A.....L..	.....L..	83	89
LOXODON	.....T.A.....L..	.....L..	83	
MESOCRI	.....T.A.....L..	.....L..	83	91
MUSMUSC	.....T.A.....L..	.....L..	83	91
RATTUSN	.....T.A.....L..	.....L..	83	91
SUSSCRO	.....T.A.....L..	.....L..	83	89
LAMAPAC	.....T.A.....L..	.....L..	83	
CAPRAHI	.....T.A.....L..	.....L..	77	88
BOSTAUR	.....T.A.....L..	.....L..	77	86
BUBALUS	.....T.A.....L..	.....L..	77	88
OVISARI	.....T.A.....L..	.....L..	77	88
GIRAFFA	.....T.A.....L..	.....L..	77	86
CERVUSE	.....T.A.....L..	.....L..	77	86
MACACAM	.....T.A.....L..	.....L..	61	75
HOMOSAP	.....T.A.....L..	.....L..	61	79
Consensus	ii aCFkKDMhKveTYLrVMK	Crresp	taa	ant
GH-ExplorerI	ACFKKDMhKVeTYLrVMK	C		

Figura 5.2 Alineamiento aminoacídico con GH-Explorer I. Las diferencias están marcadas con respecto de GH-Explorer I. Se muestra el consenso y el porcentaje de parecido en las secuencias de aminoácidos y de nucleótidos. El aminoácido Cisteína (C) en el extremo 3' de la sonda solo está representado por 2 nucleótidos. Por comparación, se agregaron aminoácidos en ambos extremos que no forman parte de la sonda.

## Capítulo 6

### Conclusiones

- 1) Se elaboraron programas computacionales para facilitar el control de los informes obtenidos del GenBank, para buscar oligonucleótidos de alta similitud para el diseño de sondas y para buscar oligonucleótidos que puedan usarse como iniciadores (*BioCode Explorer*, *MaxProbe* y *Maxprime*, respectivamente).
- 2) La utilidad de *MaxProbe* se confirmó al diseñar una sonda consenso que puede hibridar con todas las hormonas de crecimiento conocidas y se comprobó la efectividad del oligonucleótido diseñado en ensayos de hibridación.
- 3) La utilidad de *MaxPrime* se confirmó al diseñar un conjunto de iniciadores que pueden amplificar por PCR el gen de la GH de varias especies. Se comprobó la utilidad del juego de oligonucleótidos diseñado para Artiodáctilos, amplificando a partir de DNAG de jirafa, el gen de la hormona del crecimiento. El cual se clonó y se secuenció.
- 4) Se diseñaron iniciadores para PCR de la región codificante de la hormona del crecimiento que aseguran la obtención de al menos un fragmento de la secuencia codificante en cualquier vertebrado.
- 5) Se confirmó que la secuencia total de la hormona del crecimiento en vertebrados, está más conservada entre mamíferos que entre peces, excepto en la región de diseño de la sonda sobre el exón 5; y se comprobó también que las regiones implicadas en la unión al receptor (fragmentos de los exones 2 y 5) son las más conservadas entre los vertebrados.
- 6) Este trabajo proporciona una valiosa herramienta para el estudio de la Evolución Molecular ya que permite obtener por PCR o tamizaje de bancos genéticos la GH de cualquier vertebrado, además, la metodología se puede generalizar al estudio de cualquier gen.

## Capítulo 7 Anexos

### 7.1 Anexo 1

#### 7.1.1 Informes (173) de Secuencias Nucleotídicas de la GH en GenBank.

Se resaltan los números de acceso (Accession) que se seleccionaron.

Accession	Definition
A00469	H.sapiens mRNA for growth hormone
A00490	Artificial gene for human growth hormone
A00501	H.sapiens mRNA for human growth hormone
A03992	Synthetic gene for growth hormone (partial)
A06745	S.scrofa mRNA for growth hormone-9D
A06834	B.taurus gene for growth hormone
A07830	O.niloticus TGH mRNA for growth hormone
A08487	Artificial gene for bovine somatotropin
A08489	B.taurus gene for somatotropin, partial
A08993	Tilapia sp. mRNA for growth hormone
A09118	O.aries mRNA for growth hormone 12
A15072	H.sapiens gene for growth hormone (hGH)
AB001865	Coregonus lavaretus DNA for growth hormone, complete cds
AF002110	Ovis aries growth hormone (GH) gene, complete cds
AF002111	Ovis aries growth hormone (GH) gene, exon 1
AF002112	Ovis aries growth hormone (GH) gene, exons 2 and 3
AF002113	Ovis aries growth hormone (GH) gene, exons 4 and 5 and complete cds
AF002114	Ovis aries growth hormone (GH) gene, exons 2, 3 and partial cds
AF002115	Ovis aries growth hormone (GH) gene, exon 3 and partial cds
AF002116	Ovis aries growth hormone (GH) gene, exon 4 and partial cds
AF002117	Ovis aries growth hormone (GH) gene, exon 5 and partial cds
AF002118	Ovis aries growth hormone (GH) gene, exon 2 and partial cds
AF002119	Ovis aries growth hormone (GH) gene, exon 3 and partial cds
AF002120	Ovis aries growth hormone (GH) gene, exons 4, 5 and partial cds
AF002121	Ovis aries growth hormone (GH) gene, exons 1, 2, 3 and partial cds
AF002122	Ovis aries growth hormone (GH) gene, exons 1, 4 and partial cds
AF002123	Ovis aries growth hormone (GH) gene, exon 5 and partial cds
AF002124	Ovis aries growth hormone (GH) gene, exon 1 and partial cds
AF002125	Ovis aries growth hormone (GH) gene, exon 2 and partial cds
AF002126	Ovis aries growth hormone (GH) gene, exon 2 and partial cds
AF002127	Ovis aries growth hormone (GH) gene, exon 3 and partial cds
AF002128	Ovis aries growth hormone (GH) gene, exon 4 and partial cds
AF002129	Ovis aries growth hormone (GH) gene, exon 5 and partial cds
AF012096	Felis catus growth hormone 1 (GH1) gene, partial cds
AF034386	Bos indicus growth hormone mRNA, complete cds
AF052192	Trichosurus vulpecula growth hormone precursor, mRNA, complete cds
AF062745	Protopterus annectens growth hormone precursor, mRNA, complete cds
AF062746	Bufo marinus growth hormone precursor, mRNA, complete cds
AF063834	Sciaenops ocellata growth hormone prohormone mRNA, complete cds
AF069398	Carassius auratus growth hormone I mRNA, complete cds
AF069399	Carassius auratus growth hormone II mRNA, complete cds
AJ000549	Bubalus bubalis DNA for growth hormone gene, exon 4
AJ005116	Bubalus bubalis gene encoding growth hormone, promoter region
AJ005819	Spalax ehrenbergi gene encoding growth hormone
D00476	Goat growth hormone gene, complete cds and franks [Capra hircus]
D10484	Chicken growth hormone gene [Gallus gallus]
D16297	Water buffalo gene for growth hormone precursor, promoter region
D16298	Japanese serow gene for growth hormone precursor, promoter region [Capricornis crispus]
D16299	Sika deer gene for growth hormone precursor, promoter region [Cervus nippon]
D29737	Flounder gene for growth hormone, complete cds [Paralichthys olivaceus]
D30713	Bovine gene for growth hormone C variant, partial sequence

Obtención de nuevos genes de la hormona del crecimiento (GH) en vertebrados

D50368	<i>Seriola quinqueradiata</i> gene for growth hormone, exon-6, complete cds [ <i>Seriola quinqueradiata</i> ]
J00148	Human growth hormone (somatotropin, GH1) gene, complete cds
J00739	Rat growth hormone gene, complete cds
J03071	Human growth hormone (GH-1 and GH 2) and chorionic somatomammotropin (CS-1, CS-2 and CS-5) genes, complete cds
J03797	<i>S.gairdneri</i> (rainbow trout) growth hormone (GH2) gene, complete cds
K00478	Human growth hormone variant (HGH-V) gene, complete cds
K03050	Salmon growth hormone mRNA, complete cds
L04688	Chum salmon growth hormone gene, complete cds [ <i>Oncorhynchus keta</i> ]
L16555	Monkey growth hormone-variant mRNA, complete cds and flanking regions
L16556	Monkey growth hormone mRNA, complete cds and flanking regions
L27835	Pangasianodon gigas growth hormone (GH) mRNA, complete cds
L43627	<i>Sebasticus marmoratus</i> growth hormone (GH) mRNA, 3' end of cds
L43628	<i>Seriola dumerili</i> growth hormone (GH) mRNA, 3' end of cds
L43629	<i>Lateolabrax japonicus</i> growth hormone (GH) mRNA, 3' end of cds
M13438	Human growth hormone gene (HGH-N), complete cds [ <i>Homo sapiens</i> ]
M14398	Human precursor growth hormone mRNA, 3' end
M16253	Bovine alternative growth hormone mRNA, exon 4, and the boundaries of the normally excised intron D
M17704	Porcine growth hormone gene, complete cds [ <i>Sus scrofa</i> ]
M19999	<i>Oncorhynchus kisutch</i> (coho salmon) growth hormone mRNA, complete cds
M21573	Salmon ( <i>S.salar</i> ) growth hormone gene, complete cds
M22731	<i>S.gairdneri</i> (rainbow trout) growth hormone (GH1) mRNA, complete cds
M22732	<i>S.gairdneri</i> (rainbow trout) growth hormone (GH2) mRNA, complete cds
M23439	Flounder growth hormone (fGH) mRNA, complete cds
M24066	<i>Anguilla japonica</i> growth hormone mRNA, complete cds
M24683	<i>S.gairdneri</i> growth hormone (GH-I) mRNA, complete cds
M24684	<i>S.gairdneri</i> growth hormone (GH-II) mRNA, complete cds
M24768	Coho salmon growth hormone (GH) mRNA, 3' end [ <i>Oncorhynchus kisutch</i> ]
M26916	<i>O.niloticus</i> (tilapia) growth-hormone (tGH) mRNA, complete cds
M27000	<i>Cyprinus carpio</i> growth hormone (GH) mRNA, complete cds
M27094	<i>Ctenopharyngodon idella</i> growth hormone mRNA, complete cds
M27325	Bovine growth hormone mRNA, complete cds
M27326	Pig growth hormone mRNA, 3' end
M32243	Rat (spontaneous dwarf) mutant growth hormone mRNA, 3' end
M33697	<i>M.gallapavo</i> growth hormone mRNA, complete cds
M35609	Chicken growth hormone mRNA, complete cds
M35627	<i>S.quinqueradiata</i> growth hormone (GH) mRNA, complete cds
M36282	Synthetic human growth hormone gene, complete cds
M37310	Ovine growth hormone gene, complete cds [ <i>Ovis aries</i> ]
M38451	Human placenta-specific growth hormone mRNA, complete cds
M37764	Bovine growth hormone gene, complete cds [ <i>Bos taurus</i> ]
M62901	Mink growth hormone mRNA, 3' end
M63713	<i>Pangasius pangasius</i> growth hormone mRNA, complete cds [ <i>Pangasius pangasius</i> ]
M84774	<i>Tilapia nilotica</i> growth hormone gene, complete cds
M94348	<i>Hypophthalmichthys molitrix</i> growth hormone (scGH) gene, complete cds
850867	growth hormone [ <i>Oncorhynchus tshawytscha</i> =chinook salmon, mRNA, 1138 nt]
850877	growth hormone [sheep, pituitary, mRNA Partial, 801 nt]
852027	growth hormone [ <i>Rana catesbeiana</i> =bullfrogs, adenohypophyses, mRNA, 654 nt]
854890	growth hormone [ <i>Sparus aurata</i> =gilthead seabream, mRNA, 958 nt]
866299	growth hormone [Syrian Golden hamsters, mRNA, 809 nt] [ <i>Mesocricetus auratus</i> ]
867119	BST-somatotropin...BST/beta-Gal fusion protein [ <i>Escherichia coli</i> , LB844, plasmid pBT107, IS10L/R-1, PlasmidTransposonInsertionMutant, 3 genes, 1679nt]
868464	growth hormone [ <i>Oncorhynchus tshawytscha</i> =chinook salmon, mRNA Partial, 61nt]
869215	GH-growth hormone [ <i>Ictalurus punctatus</i> =channel catfish, Genomic, 3579 nt]
872386	growth hormone (exons 4 and 5) [swine, pituitary gland, Genomic, 227 nt]
873969	growth hormone [ <i>Amia calva</i> =bowfin, mRNA Partial, 836 nt]
878184	growth hormone [beagle dogs, mammary tissue, mRNA Partial, 431 nt] [ <i>Canis familiaris</i> ]
878253	somatotropin [ <i>Morone saxatilis</i> =striped bass, pituitary glands, mRNA, 928 nt]
882528	growth hormone [ <i>Lepisosteus osseus</i> =long-nosed gar, pituitary, mRNA Partial, 1713 nt]
88Q_OAAGH	<i>Ovis aries</i> growth hormone, complete cds
88Q_OARGH	<i>Ovis aries</i> chromosome 11 strain romanov
88Q_OVAAGH	<i>Ovis aries</i> chromosome 11 strain avassii
88Q_OVARGH	<i>Ovis aries</i> growth hormone (GH) gene, partial cds
88Q_OVIAAGH	<i>Ovis aries</i> chromosome 11 strain avassii
U01143	<i>Solea senegalensis</i> growth hormone mRNA, complete cds
U01301	<i>Sparus aurata</i> growth hormone mRNA, complete cds
U02293	<i>Macaca mulatta</i> growth hormone-variant gene, complete cds
U02929	<i>Equus caballus</i> growth hormone (ecGH) mRNA, complete cds
U13390	<i>Felis catus</i> growth hormone precursor mRNA, complete cds

U16816	<i>Lates calcarifer</i> growth hormone gene, promoter region and complete cds
U19787	<i>Sus scrofa</i> growth hormone mRNA, complete cds
U19788	<i>Sus scrofa</i> growth hormone mRNA, complete cds
U21920	<i>Abramis brama</i> growth hormone (GH) gene, partial cds
U25973	<i>Felis catus</i> growth hormone mRNA, complete cds
U28156	<i>Oncorhynchus clarki</i> growth hormone type 2 (GH2) gene, partial cds
U28157	<i>Oncorhynchus tshawytscha</i> growth hormone type-2 (GH2) gene, partial cds
U28389	<i>Oncorhynchus kisutch</i> growth hormone type-2 (GH2) gene, exons 4 and 5, partial cds
U28360	<i>Oncorhynchus gorbuscha</i> growth hormone type-2 (GH2) gene, exons 4 and 5, partial cds
U28361	<i>Oncorhynchus masou</i> growth hormone type-2 (GH2) gene, exons 4 and 5, partial cds
U28362	<i>Oncorhynchus rhodurus</i> growth hormone type-2 (GH2) gene, exons 4 and 5, partial cds
U28388	<i>Carassius auratus</i> growth hormone mRNA, partial cds
U29954	<i>Salvelinus namaycush</i> growth hormone type-2 (GH2) gene, partial cds
U48221	<i>Sparus aurata</i> growth hormone gene, complete cds
U58113	<i>Sus scrofa</i> growth hormone (GH) gene, promoter region
U63803	<i>Arothron maculatus</i> growth hormone (GH) gene, partial cds
U63804	<i>Colisa lalia</i> growth hormone (GH) gene, partial cds
U63805	<i>Poecilia reticulata</i> growth hormone (GH) gene, partial cds
U63806	<i>Carassius auratus</i> growth hormone (GH) gene, partial cds
U63807	<i>Fugu rubripes</i> growth hormone (GH) gene, complete cds
U73464	<i>Sus scrofa</i> growth hormone (pGH) gene, exon 2, partial cds
U89917	<i>Sebastes schlegelii</i> growth hormone (KrGH) mRNA, complete cds
V00111	Bovine mRNA for growth hormone
V00520	Human germ line gene for growth hormone (presomatotropin)
X02891	Mouse mRNA for growth hormone
X06735	Tuna mRNA for growth hormone
X07035	Goat mRNA for growth hormone
X07079	Duck mRNA for growth hormone
X12546	Ovine gene for growth hormone
X12408	Chicken mRNA for growth hormone
X12657	Bovine growth-hormone factor 1 (bGHF-1) mRNA, complete cds
X12658	Rat growth-hormone factor 1 (rGHF-1) mRNA, complete cds
X12687	Flounder mRNA fragment for growth hormone
X13670	<i>Cyprinus carpio</i> mRNA for growth hormone
X14305	<i>S. salar</i> mRNA for growth hormone
X14601	<i>Xenopus laevis</i> mRNA for growth hormone A
X14602	<i>Xenopus laevis</i> mRNA for growth hormone B
X15055	Flounder ( <i>Paralichthys olivaceus</i> ) mRNA for growth hormone precursor
X17618	<i>G. domesticus</i> growth hormone somatotropin mRNA
X51969	<i>Cyprinus carpio</i> growth hormone gene
X55176	<i>C. delicatissimus</i> mRNA for growth hormone
X56120	Mink mRNA for growth hormone [ <i>Mustela vison</i> ]
X59377	<i>A. butchari</i> mRNA for growth hormone
X59378	<i>L. calcarifer</i> mRNA for growth hormone
X60419	<i>C. idellus</i> gene encoding growth hormone
X60473	<i>H. nobilis</i> (Bighead carp) mRNA for growth hormone
X60474	<i>C. idellus</i> (Grass carp) mRNA for growth hormone
X60475	<i>H. nilitrix</i> (Silver carp) mRNA for growth hormone
X61938	<i>S. salar</i> gene for growth hormone I
X65716	<i>D. labrax</i> mRNA for growth hormone
X72947	<i>B. bubalis</i> mRNA for growth hormone
X77245	<i>C. autumnalis</i> growth hormone gene mRNA
X79002	<i>C. hippurus</i> mRNA for growth hormone.
Y12578	<i>C. elaphus</i> gene encoding growth hormone
Z09421	<i>A. alburnus</i> growth hormone gene, intron, partial.
Z23067	<i>C. familiaris</i> mRNA for growth hormone.
Z38127	<i>O. oenicularis</i> gene for growth hormone
Z46663	<i>M. musculus</i> DNA for growth hormone gene and promoter

## 7.2 Anexo 2

### 7.2.1 Informes (330) de Secuencias Aminoacídicas de la GH en GenBank.

Se resaltan los números de acceso (Accession) que se seleccionaron.

Accession	Description
1000419	(878253) somatotropin, growth hormone, GH (Morone saxatilis-stripped bass, pituitary glands, Peptide, 204 aa) [Morone saxatilis]
103829	somatotropin precursor - grass carp
103912	somatotropin precursor I - rainbow trout
103913	somatotropin precursor II - rainbow trout
103957	somatotropin precursor - winter flounder
1041999	growth hormone, GH [Crocodylus novaeguineae-crocodiles, pituitary glands, Peptide, 190 aa] [Crocodylus novaeguineae]
1070552	somatotropin 1 precursor - human
1070553	somatotropin 2 precursor - human
1070554	somatotropin - alpaca
1070555	somatotropin 2 splice form 2 precursor - human
1071917	growth hormone precursor - rabbit
1079137	growth hormone - bullfrog
108101	somatotropin - sei whale (fragments)
1083902	growth hormone precursor - Acanthopagrus latus (yellowfin porgy)
1083903	growth hormone precursor - European sea bass
1085434	somatotropin precursor - pig (fragment)
1085460	somatotropin precursor - bovine
108923	somatotropin - bovine (fragments)
108924	somatotropin, variant - bovine (fragment)
1143869	(U28388) growth hormone [Carassius auratus]
1174393	SOMATOTROPIN PRECURSOR (GROWTH HORMONE)
1174394	SOMATOTROPIN PRECURSOR (GROWTH HORMONE)
1174395	SOMATOTROPIN PRECURSOR (GROWTH HORMONE) [Esox Lucius]
1174396	SOMATOTROPIN PRECURSOR (GROWTH HORMONE)
1174397	SOMATOTROPIN PRECURSOR (GROWTH HORMONE)
1174398	SOMATOTROPIN PRECURSOR (GROWTH HORMONE)
1174399	SOMATOTROPIN PRECURSOR (GROWTH HORMONE)
1174400	SOMATOTROPIN PRECURSOR (GROWTH HORMONE)
1174401	SOMATOTROPIN PRECURSOR (GROWTH HORMONE)
1178	(X56120) growth hormone [Mustela vison]
1208670	(U48221) growth hormone [Sparus aurata]
1246396	(D50348) growth hormone [Merluccius merluccius]
134691	SOMATOTROPIN I (GROWTH HORMONE I)
134692	SOMATOTROPIN I PRECURSOR (GROWTH HORMONE I)
134693	SOMATOTROPIN II (GROWTH HORMONE II)
134695	SOMATOTROPIN PRECURSOR (GROWTH HORMONE)
134696	SOMATOTROPIN I PRECURSOR (GROWTH HORMONE I)
134697	SOMATOTROPIN PRECURSOR (GROWTH HORMONE)
134698	SOMATOTROPIN PRECURSOR (GROWTH HORMONE)
134699	SOMATOTROPIN PRECURSOR (GROWTH HORMONE)
134701	SOMATOTROPIN PRECURSOR (GROWTH HORMONE)
134703	SOMATOTROPIN PRECURSOR (GROWTH HORMONE)
134705	SOMATOTROPIN (GROWTH HORMONE)
134706	SOMATOTROPIN (GROWTH HORMONE) [Loxodonta africana]
134707	SOMATOTROPIN PRECURSOR (GROWTH HORMONE)
134708	SOMATOTROPIN PRECURSOR (GROWTH HORMONE)
134709	SOMATOTROPIN PRECURSOR (GROWTH HORMONE)
134710	SOMATOTROPIN PRECURSOR (GROWTH HORMONE)
134711	SOMATOTROPIN PRECURSOR (GROWTH HORMONE)
134712	SOMATOTROPIN PRECURSOR (GROWTH HORMONE)
134713	SOMATOTROPIN PRECURSOR (GROWTH HORMONE) [Chrysophrys major]
134714	SOMATOTROPIN PRECURSOR (GROWTH HORMONE)
134715	SOMATOTROPIN PRECURSOR (GROWTH HORMONE)
134717	SOMATOTROPIN PRECURSOR (GROWTH HORMONE)
134718	SOMATOTROPIN PRECURSOR (GROWTH HORMONE)
134719	SOMATOTROPIN PRECURSOR (GROWTH HORMONE)
134720	SOMATOTROPIN PRECURSOR (GROWTH HORMONE)
134721	SOMATOTROPIN PRECURSOR (GROWTH HORMONE) [Thunnus thynnus]

134722	SOMATOTROPIN (GROWTH HORMONE) [Vulpes vulpes]
134723	SOMATOTROPIN A (GROWTH HORMONE A)
134724	SOMATOTROPIN B (GROWTH HORMONE B)
134728	GROWTH HORMONE VARIANT I PRECURSOR (GH-V) (PLACENTA-SPECIFIC GROWTH HORMONE)
134729	GROWTH HORMONE VARIANT II PRECURSOR (GH-V2)
1351088	SOMATOTROPIN 2 PRECURSOR (GROWTH HORMONE 2)
1351089	SOMATOTROPIN PRECURSOR (GROWTH HORMONE)
1363915	somatotropin precursor - barramundi perch
1377863	(U58113) growth hormone [Sus scrofa]
14936	(A00498) growth hormone [unidentified]
14539	(A00501) growth hormone [Homo sapiens]
1469320	(U28156) growth hormone type-2 [Oncorhynchus clarki]
1469322	(U28157) growth hormone type-2 [Oncorhynchus tshawytscha]
1469324	(U28360) growth hormone type-2 [Oncorhynchus gorbuscha]
1469326	(U28359) growth hormone type-2 [Oncorhynchus kisutch]
1469330	(U28361) growth hormone type-2 [Oncorhynchus masou]
1469334	(U28362) growth hormone type-2 [Oncorhynchus rhodurus]
1469340	(U29954) growth hormone type-1 [Salvelinus namaycush]
1566702	(A00469) growth hormone [Homo sapiens]
163090	(M27325) growth hormone precursor [Bos taurus]
163092	(M57764) growth hormone [Bos taurus]
163096	(M16253) growth hormone (alt.) [Bos taurus]
163097	(M16253) growth hormone (wt) [Bos taurus]
164254	(M62901) growth hormone [Mustela vison]
1644507	(U73464) growth hormone [Sus scrofa]
164476	(M17704) growth hormone [Sus scrofa]
164478	(M27326) growth hormone precursor [Sus scrofa]
165887	(M17310) growth hormone precursor [Ovis aries]
1699205	(S82528) growth hormone, GH [Lepisosteus osseus=long-nosed gar, pituitary, Peptide, 211 aa] [Lepisosteus osseus]
1793	(X12546) growth hormone [Ovis aries]
183146	(J00148) somatotropin [Homo sapiens]
183147	(J00148) somatotropin [Homo sapiens]
183149	(J03071) growth hormone GH-1 [Homo sapiens]
183152	(J03071) growth hormone GH-2 [Homo sapiens]
183157	(M14398) growth hormone [Homo sapiens]
183159	(M14398) growth hormone [Homo sapiens]
183175	(K00470) growth hormone [Homo sapiens]
183180	(M38451) growth hormone [Homo sapiens]
1836078	growth hormone, GH (N-terminal) [Clarias fariapinus=African catfishes, Burchell, pituitary glands, Peptide Partial, 50 aa] [Clarias fariapinus]
1877038	(D29737) growth hormone [Parasilichthys olivaceus]
1881773	(U89917) growth hormone [Sebastes schlegeli]
1932751	(U63803) growth hormone [Arothron maculatus]
1932753	(U63806) growth hormone [Carassius auratus]
1932755	(U63804) growth hormone [Colisa lalia]
1932757	(U63807) growth hormone [Pugu rubripes]
1932759	(U63805) growth hormone [Poecilia reticulata]
1943990	(A8001863) growth hormone [Coregonus lavaretus]
204307	(J00739) somatotropin [Rattus norvegicus]
2065033	(Y12578) growth hormone precursor [Carvus elapbus]
206884	(M32243) growth hormone [Rattus norvegicus]
208475	(M16282) growth hormone [synthetic construct]
210957	(M24066) growth hormone [Aguilla japonica]
211809	(M35609) growth hormone [Gallus gallus]
2118581	somatotropin precursor - American mink
2118585	growth hormone - bowfin (fragment)
2118586	somatotropin - Japanese sea perch (fragment)
2118588	growth hormone - chinook salmon (fragment)
2118589	growth hormone precursor - sheep
2118590	somatotropin - common carp
2118591	somatotropin - cat
2118592	somatotropin - Escherichia coli
2118593	growth hormone - bovine (fragment)
2118594	growth hormone - noble carp
2118595	growth hormone 2 - rainbow trout
2118596	growth hormone - chinook salmon
2118597	growth hormone - bullfrog
2118598	growth hormone - rhesus macaque
2118599	growth hormone - rhesus macaque
2118600	growth hormone precursor - erctic eisco
213310	(M94348) growth hormone [Kypophthalmichthys molitrix]
213416	(M19999) growth hormone precursor [Oncorhynchus kisutch]
213418	(K03050) growth hormone prepeptide [Oncorhynchus keta]
213424	(L04688) growth hormone [Oncorhynchus keta]
213500	(M26916) growth hormone precursor [Tilapia nilotica]

## Obtención de nuevos genes de la hormona del crecimiento (GH) en vertebrados

213812	(M23439) growth hormone precursor [Paralichthys olivaceus]
213867	(M63713) growth hormone [Pangasius pangasius]
2138809	growth hormone precursor - pig (fragment)
213750	(M35627) growth hormone (GH) precursor (Seriola quinqueradiata)
213786	(M24683) growth hormone I precursor [Oncorhynchus mykiss]
213788	(M24684) growth hormone II precursor [Oncorhynchus mykiss]
213790	(M22731) growth hormone 1 precursor [Oncorhynchus mykiss]
213792	(J03797) growth hormone 2 [Oncorhynchus mykiss]
213794	(M22732) growth hormone 2 precursor [Oncorhynchus mykiss]
213798	(M21573) growth hormone [Salmo salar]
213890	(M84774) growth hormone [Tilapia nilotica]
213894	(M33697) growth hormone precursor [Meleagris gallopavo]
2147434	growth hormone - giant catfish
2147435	growth hormone - sole
2148057	somatotropin - dusky stingfish
2148058	somatotropin - greater amberjack
2148059	somatotropin - Morone saxatilis
217665	(D00476) growth hormone [Capra hircus]
222023	(D10484) growth hormone [Gallus gallus]
2250304	(AF002110) growth hormone [Ovis aries]
2250309	(AF002113) growth hormone [Ovis aries]
2281494	(AF002114) growth hormone [Ovis aries]
2281495	(AF002115) growth hormone [Ovis aries]
2281496	(AF002116) growth hormone [Ovis aries]
2281497	(AF002117) growth hormone [Ovis aries]
2281502	(AF002118) growth hormone [Ovis aries]
2281503	(AF002119) growth hormone [Ovis aries]
2281504	(AF002120) growth hormone [Ovis aries]
2281509	(AF002121) growth hormone [Ovis aries]
2281510	(AF002122) growth hormone [Ovis aries]
2281511	(AF002123) growth hormone [Ovis aries]
2281519	(AF002124) growth hormone [Ovis aries]
2281520	(AF002125) growth hormone [Ovis aries]
2281521	(AF002126) growth hormone [Ovis aries]
2281522	(AF002127) growth hormone [Ovis aries]
2281523	(AF002128) growth hormone [Ovis aries]
2281524	(AF002129) growth hormone [Ovis aries]
2292740	(AJ000549) growth hormone [Bubalus arnee bubalis]
235249	(S54890) growth hormone [Sparus aurata-gilthead seabream, Peptide, 204 aa] [Sparus aurata]
239356	(S66299) growth hormone [Syrian Golden hamsters, Peptide, 216 aa] [Mesocricetus auratus]
249110	growth hormone I, GH I [Acipenser guldenstadti-sturgeon, Peptide, 190 aa] [Acipenser guldenstadti]
2500853	SOMATOTROPIN (GROWTH HORMONE)
2500854	SOMATOTROPIN PRECURSOR (GROWTH HORMONE)
2500855	GROWTH HORMONE VARIANT I PRECURSOR (GH-V) (PLACENTA-SPECIFIC GROWTH HORMONE)
259070	growth hormone, cGH [N-terminal] [deer, pituitary glands, Peptide Partial, 43 aa] [Cervidae]
261623	(S50877) growth hormone, GH [sheep, pituitary, Peptide, 217 aa] [Ovis aries]
262191	(S50867) growth hormone, sGH [Oncorhynchus tshawytscha-chinook salmon, Peptide, 310 aa] [Oncorhynchus tshawytscha]
262922	(S52027) growth hormone, GH [Rana catesbeiana-bullfrogs, adenybypophyses, Peptide, 215 aa] [Rana catesbeiana]
264607	growth hormone, GH [N-terminal] [Bennett's wallabies, Peptide Partial, 40 aa] [Macropus rufogriseus]
267016	SOMATOTROPIN PRECURSOR (GROWTH HORMONE)
267017	SOMATOTROPIN PRECURSOR (GROWTH HORMONE)
267018	SOMATOTROPIN PRECURSOR (GROWTH HORMONE)
267019	SOMATOTROPIN PRECURSOR (GROWTH HORMONE)
2708611	(AF034386) growth hormone [Bos primigenius indicus]
2828571	(AF012096) growth hormone 1 [Felis catus]
283875	somatotropin precursor - chicken
284549	somatotropin - sei whale
293115	(L16556) growth hormone [Macaca mulatta]
293117	(L16555) growth hormone [Macaca mulatta]
295718	(X51969) growth hormone [Cyprinus carpio]
296143	(X72947) growth hormone [Bubalus arnee]
3002999	(AF052192) growth hormone precursor [Trichosurus vulpecula]
3024631	SOMATOTROPIN I PRECURSOR (GROWTH HORMONE I)
3024641	SOMATOTROPIN PRECURSOR (GROWTH HORMONE)
3024651	SOMATOTROPIN II PRECURSOR (GROWTH HORMONE II)
3116089	(AJ005819) growth hormone [Mannosialax shrenbergi]
312406	(V00520) growth hormone [Homo sapiens]
3135383	(AF063834) growth hormone prohormone [Aciaenops ocellatus]
3135387	(AF062745) growth hormone precursor [Protopterus annectens]
3135389	(AF062746) growth hormone precursor [Bufo marinus]
320148	somatotropin - guinea pig (fragment)

3202015	(AF069396) growth hormone I [Carassius auratus]
3202017	(AF069397) growth hormone II [Carassius auratus]
321065	somatotropin - blue shark
321071	somatotropin - Atlantic salmon (fragment)
321077	somatotropin - bullfrog (fragments)
321079	somatotropin - green sea turtle
321139	growth hormone variant, placental - human (fragments)
345577	somatotropin - Nile tilapia
389	(X12657) growth hormone factor I [Bos taurus]
398544	(U01301) growth hormone [Sparus aurata]
400	(V00111) growth hormone [Bos taurus]
406987	(U02293) growth hormone-variant [Macaca mulatta]
409963	(U02929) growth hormone [Equus caballus]
410759	(A06745) growth hormone-9D [Sus scrofa]
410770	(A06834) growth hormone [Bos taurus]
410774	(A08489) somatotropin [Bos taurus]
410776	(A09118) growth hormone 12 [Ovis aries]
411882	(A08993) growth hormone [Tilapia sp.]
412360	(A03992) growth hormone [unidentified]
413471	(A08487) somatotropin [unidentified]
417792	SOMATOTROPIN (GROWTH HORMONE)
419973	somatotropin - chum salmon (fragments)
422588	somatotropin - Acanthopagrus butcheri
423175	somatotropin - dog
425490	growth hormone, GH [Ictalurus punctatus-catfish, pituitary glands, Peptide, 178 aa] [Ictalurus punctatus]
430949	(U01143) growth hormone [Solea senegalensis]
435733	(866470) pregrowth hormone, pre-GH [Esox lucius-northern pike, pituitary glands, Peptide, 209 aa] [Esox lucius]
450295	(L27835) growth hormone [Pangasianodon gigas]
452386	(X77245) growth hormone [Coregonus autumnalis]
452872	growth hormone, GH [N-terminal] [Amia calva-holostean fish, pituitaries, Peptide Partial, 26 aa] [Amia calva]
455675	(867119) somatotropin, BST-fusion protein [Escherichia coli, LBB84, plasmid pXT107, IS10L/R-1, Peptide PlasmidTransposonInsertionMutant, 20 aa] [Escherichia coli]
455677	(867119) BST/beta-Gal fusion protein(somatotropin, BST, beta-galactosidase, beta-Gal) [Escherichia coli, LBB84, plasmid pXT107, IS10L/R-1, Peptide PlasmidTransposonInsertionMutant, 87 aa] [Escherichia coli]
464778	SOMATOTROPIN PRECURSOR (GROWTH HORMONE)
464779	SOMATOTROPIN (GROWTH HORMONE) [Chelonia mydas]
464780	SOMATOTROPIN PRECURSOR (GROWTH HORMONE)
464783	SOMATOTROPIN (GROWTH HORMONE)
464784	SOMATOTROPIN (GROWTH HORMONE) [Prionace glauca]
464785	SOMATOTROPIN (GROWTH HORMONE)
477892	growth hormone - golden hamster
478615	somatotropin - Russian sturgeon
479218	somatotropin - domestic water buffalo
482753	somatotropin - Mozambique tilapia
482758	somatotropin 20K - Atlantic cod [Gadus morhua]
482759	somatotropin - American plaice (fragment) [Hippoglossoides platessoides]
483102	somatotropin 22K - Atlantic cod [Gadus morhua]
483314	somatotropin alpha chain - turkey
484679	somatotropin precursor - pig (fragment)
490144	(A15072) growth hormone [Homo sapiens]
493010	(A07830) growth hormone [Tilapia nilotica]
493626	(D30713) growth hormone $\alpha$ variant [Bos taurus]
51068	(X02891) growth hormone precursor (aa 26 to 196) [Mus musculus]
529028	(M27000) growth hormone [Cyprinus carpio]
529476	(M24768) growth hormone [Oncorhynchus kisutch]
542619	somatotropin - silver carp
544569	(868464) growth hormone, sGH [Oncorhynchus tshawytscha-chinook salmon, Peptide Partial, 21 aa] [Oncorhynchus tshawytscha]
545073	(869215) growth hormone, GH [Ictalurus punctatus-channel catfish, Peptide, 200 aa] [Ictalurus punctatus]
558683	(E38127) growth hormone precursor [Oryctolagus cuniculus]
56219	(X12658) growth hormone factor I [Rattus norvegicus]
567042	(U13390) growth hormone precursor [Felis catus]
586010	SOMATOTROPIN (GROWTH HORMONE)
586011	SOMATOTROPIN PRECURSOR (GROWTH HORMONE)
586012	SOMATOTROPIN PRECURSOR (GROWTH HORMONE)
609444	(M27094) growth hormone [Ctenopharyngodon idella]
62400	(X59377) growth hormone [Acanthopagrus butcheri]
62437	(X07079) growth hormone precursor [Anas platyrhynchos]
62608	(X13670) growth hormone precursor (AA 23 to 186) [Cyprinus carpio]
62699	(X55176) growth hormone [Caranx delicatissimus]
62705	(X60419) growth hormone [Ctenopharyngodon idella]

## Obtención de nuevos genes de la hormona del crecimiento (GH) en vertebrados

62711	(X60474) growth hormone [Ctenopharyngodon idella]
62770	(X65716) growth hormone [Dicentrarchus labrax]
62910	(X17618) growth hormone [Gallus gallus]
630928	somatotropin - silver carp
63407	(X12608) growth hormone precursor (AA -25 to 191) [Gallus gallus]
63978	(X60475) growth hormone [Hypophthalmichthys molitrix]
64034	(X59378) growth hormone [Lates calcarifer]
64230	(X15055) growth hormone precursor (AA -17 to [Paralichthys olivaceus])
64352	(X14305) growth hormone prepeptide [Salmo salar]
64358	(X61938) growth hormone I [Salmo salar]
64432	(X66735) growth hormone precursor (AA -17 to 187) [Trinectes thynnus]
64718	(X14601) growth hormone A [Xenopus laevis]
64720	(X14602) growth hormone B [Xenopus laevis]
65314	(X60473) growth hormone [Hypophthalmichthys nobilis]
69196	somatotropin precursor - rat
69197	somatotropin precursor - mouse
69198	somatotropin - horse
69199	somatotropin precursor - pig
69200	somatotropin precursor - bovina
69201	somatotropin precursor - sheep
69202	somatotropin precursor - goat
69203	somatotropin precursor - coho salmon
69204	somatotropin precursor - five-ray yellowtail
693758	(S73969) growth hormone, GH [Ania calva-howfis, Peptide, 195 aa] [Ania calva]
722276	(U21920) growth hormone [Abramis brama]
730764	SOMATOTROPIN PRECURSOR (GROWTH HORMONE)
806930	(S72386) growth hormone, pGH (axons 4 and 5) [swine, pituitary gland, Peptide Partial, 62 aa] [Sus scrofa]
825769	(U25973) growth hormone [Felis catus]
847751	(U19787) growth hormone [Sus scrofa]
85475	somatotropin I precursor - Japanese eel
85508	somatotropin precursor - common carp
85509	somatotropin precursor - common carp
85545	somatotropin II precursor - chum salmon
85546	somatotropin precursor - chum salmon
85582	somatotropin precursor - rainbow trout
85588	somatotropin precursor - Atlantic salmon
85589	somatotropin precursor - Atlantic salmon
85627	somatotropin precursor - red sea bream
85628	somatotropin precursor - gilthead sea bream
85649	somatotropin - skipjack tuna [Euthynnus pelamis]
85653	somatotropin - yellowfin tuna
85657	somatotropin precursor - bluefin tuna
85662	somatotropin precursor - Paralichthys olivaceus
85850	somatotropin A - African clawed frog (fragment)
85851	somatotropin B - African clawed frog (fragment)
85905	somatotropin precursor - bullfrog
86054	somatotropin precursor - duck [Anas platyrhynchos x Cairina moschata]
89010	somatotropin - Arctic fox [Alopex lagopus]
89109	somatotropin - African elephant
89296	somatotropin - pig (fragments)
897780	(E46663) growth hormone [Mus musculus]
903764	(L43629) growth hormone [Lateolabrax japonicus]
903877	(L43627) growth hormone [Sebastes marmoratus]
903879	(L43628) growth hormone [Seriola dumeril]
912486	(U19788) growth hormone [Sus scrofa]
93024	somatotropin - rhesus macaque (tentative sequence)
947115	(U16816) growth hormone [Lates calcarifer]
974	(X07035) growth hormone (AA 1-217) [Capra hircus]
999334	(S76184) growth hormone, GH [beagle dogs, mammary tissue, Peptide Partial, 143 aa] [Canis familiaris]

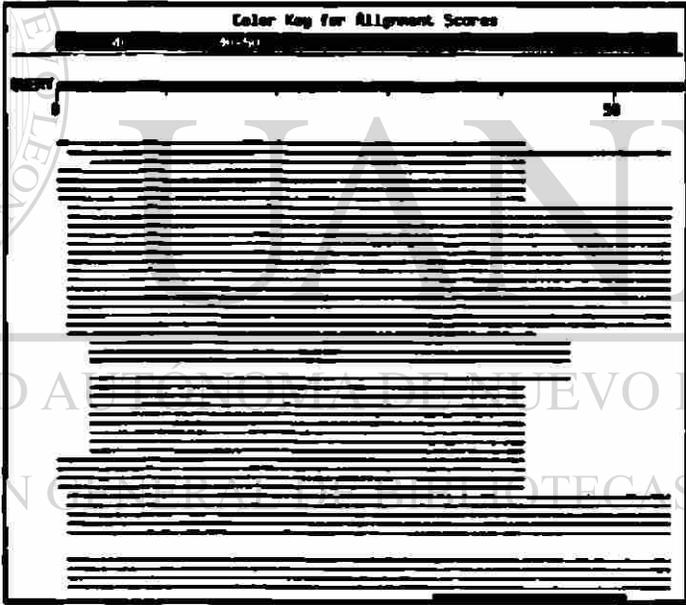
## 7.3 Anexo 3

### 7.3.1 Informe Resultado de la Consulta en BLAST de la Sonda GH-Explorer I

(189 secuencias, alineamientos parciales representativos se muestran al final).

**BLASTN 2.0.5 [May-5-1998]**  
**Query=** goctgctcaRgaaggacatgcacaaggtggagacctacctgagggtcatgaagtg(GH-Explorer I)  
 (56 letters)  
**Database:** Non-redundant GenBank+EMBL+DDBJ+PDB  
 sequences 368,044 sequences; 825,693,407 total letters

**Distribution of 189 Blast Hits on the Query Sequence**



Duck & Tuna →  
 Tilapia →  
 Gallopavo →

Salmon →  
 Seriola Dumerili →  
 Ovis Aries →  
 Felis Catus →  
 Equus Microsatellite →

Sequences producing significant alignments:	Score (bits)	E Value
<a href="#">emb X07079 APGH</a> Duck mRNA for growth hormone	83	4e-15
<a href="#">emb X06735 TTGHR</a> Tuna mRNA for growth hormone	83	4e-15
<a href="#">gb M26916 ORNTIGH</a> O.niloticus (tilapia) growth-hormone (tiGH) m...	77	3e-13
<a href="#">emb Z46563 MMGHGPRO</a> M.musculus DNA for growth hormone gene and ...	75	1e-12
<a href="#">emb V01238 RNGROW2</a> Rat gene for growth hormone (presomatotropin...	75	1e-12
<a href="#">emb X17618 GDGHSOM</a> G.domesticus growth hormone somatotropin mRNA	75	1e-12
<a href="#">emb AJ005819 SEH5819</a> Spalax ehrenbergi gene encoding growth hor...	75	1e-12
<a href="#">emb V01239 RNGROW3</a> Rat gene for growth hormone (presomatotropin...	75	1e-12
<a href="#">emb X59378 LCGHOR</a> L.calcarifer mRNA for growth hormone	75	1e-12
<a href="#">gb M33697 TKYGRHO</a> M.gallapavo growth hormone mRNA, complete cds.	75	1e-12
<a href="#">emb V01237 RNGROW1</a> Messenger RNA for rat growth hormone. >gi 20...	75	1e-12
<a href="#">dbj D10484 CHKGHG</a> Chicken growth hormone gene	75	1e-12
<a href="#">gb M35609 CHKGHA</a> Chicken growth hormone mRNA, complete cds.	75	1e-12
<a href="#">emb X02891 MMGHR1</a> Mouse mRNA for growth hormone >gi 193503 gb K...	75	1e-12

<a href="#">emb X79002 CHGRON</a>	C.hippurus mRNA for growth hormone	75	1e-12
<a href="#">gb L25053 RATGNRHR</a>	Rattus norvegicus Gonadotropin releasing hor...	75	1e-12
<a href="#">emb X12608 GGGH</a>	Chicken mRNA for growth hormone	75	1e-12
<a href="#">gb U62779 RNU62779</a>	Rattus norvegicus presomatotropin mRNA, comp...	75	1e-12
<a href="#">emb X77245 CAGHG</a>	C.autumnalis growth hormone gene mRNA.	75	1e-12
<a href="#">emb X14305 SSALGHI</a>	S.salar mRNA for growth hormone	75	1e-12
<a href="#">gb S69215 S69215</a>	GH-growth hormone [Ictalurus punctatus-channel...	75	1e-12
<a href="#">gb S66299 S66299</a>	growth hormone [Syrian Golden hamsters, mRNA, ...	75	1e-12
<a href="#">gb M29382 SYNGHSMHRC</a>	S.gairdneri (rainbow trout)/E.coli beta-ga...	69	7e-11
<a href="#">emb X60419 CIGH</a>	C.idellus gene encoding growth hormone	69	7e-11
<a href="#">gb M19999 ONHGHCOHO</a>	Oncorhynchus kisutch (coho salmon) growth h...	69	7e-11
<a href="#">gb M24768 ONHGH</a>	Coho salmon growth hormone (GH) mRNA, 3' end.	69	7e-11
<a href="#">gb S50867 S50867</a>	growth hormone [Oncorhynchus tshawytscha-chin...	69	7e-11
<a href="#">gb AF069398 AF069398</a>	Carassius auratus growth hormone I mRNA, c...	69	7e-11
<a href="#">emb X17593 OKGHI</a>	O.keta RNA for growth hormone I, sGHI	69	7e-11
<a href="#">gb M27094 CTEGRH</a>	Ctenopharyngodon idella growth hormone mRNA, c...	69	7e-11
<a href="#">emb X60988 CIGCGH</a>	C.idella gcGH (grass carp growth hormone) gen...	69	7e-11
<a href="#">gb M22731 SMOGRHTA</a>	S.gairdneri (rainbow trout) growth hormone (...	69	7e-11
<a href="#">gb X03050 ONHGHSAI</a>	Salmon growth hormone mRNA, complete cds.	69	7e-11
<a href="#">gb U21920 ABU21920</a>	Abraxis brama growth hormone (GH) gene, part...	69	7e-11
<a href="#">gb M24683 SMOGH1</a>	S.gairdneri growth hormone (GH-I) mRNA, comple...	69	7e-11
<a href="#">gb U13390 FCU13390</a>	Felis catus growth hormone precursor mRNA, c...	67	3e-10
<a href="#">gb AF002123 OVAAGH3</a>	Ovis aries growth hormone (GH) gene, exon 5...	67	3e-10
<a href="#">emb X55176 CDGRHO</a>	C.delicatissimus mRNA for growth hormone	67	3e-10
<a href="#">gb AF002113 QAAGH3</a>	Ovis aries growth hormone (GH) gene, exons 4...	67	3e-10
<a href="#">gb AF062746 AF062746</a>	Bufo marinus growth hormone precursor, mRNA...	67	3e-10
<a href="#">gb AF002120 SEG OVARGH3</a>	Ovis aries growth hormone (GH) gene, ex...	67	3e-10
<a href="#">dbj D00476 GOTGHRA</a>	Goat growth hormone gene, complete cds and f...	67	3e-10
<a href="#">gb S50877 S50877</a>	growth hormone (sheep, pituitary, mRNA Partial...	67	3e-10
<a href="#">gb U49063 OAU49063</a>	Ovis aries placental growth hormone mRNA, co...	67	3e-10
<a href="#">gb M17704 PIGGH</a>	Porcine growth hormone gene, complete cds. >gi ...	67	3e-10
<a href="#">gb AF002110 OAGH1</a>	Ovis aries growth hormone (GH) gene, complete...	67	3e-10
<a href="#">gb L43628 SEQGHR</a>	Seriola dumerili growth hormone (GH) mRNA, 3' ...	67	3e-10
<a href="#">gb M22732 SMOGRHTC</a>	S.gairdneri (rainbow trout) growth hormone (...	67	3e-10
<a href="#">gb M35627 SEOPGH</a>	S.quinqueradiata growth hormone (GH) mRNA, com...	67	3e-10
<a href="#">dbj D30713 BOVGHCY</a>	Bovine gene for growth hormone C variant, pa...	67	3e-10
<a href="#">gb AF002129 OVIAGHG6</a>	Ovis aries growth hormone (GH) gene, exon ...	67	3e-10
<a href="#">gb M27326 PIGGHC</a>	Pig growth hormone mRNA, 3' end.	67	3e-10
<a href="#">emb X15976 OOGHM6</a>	Ovine GH mRNA for growth hormone	67	3e-10
<a href="#">gb AF002117 OARGH4</a>	Ovis aries growth hormone (GH) gene, exon 5 ...	67	3e-10
<a href="#">gb M24684 SMOGH2</a>	S.gairdneri growth hormone (GH-II) mRNA, compl...	67	3e-10
<a href="#">gb U89917 SSU89917</a>	Sebastes schlegeli growth hormone (KrGH) mRNA...	67	3e-10
<a href="#">gb AF063834 AF063834</a>	Sciaenops ocellata growth hormone prohormo...	67	3e-10
<a href="#">gb U25973 FCU25973</a>	Felis catus growth hormone mRNA, complete cds.	67	3e-10
<a href="#">emb Y00767 CHGHR</a>	Goat mRNA for growth hormone >gi 2170271 dbj E...	67	3e-10
<a href="#">gb U02929 BCU02929</a>	Equus caballus growth hormone (ecGH) mRNA, c...	67	3e-10
<a href="#">emb X07035 CHGH</a>	Goat mRNA for growth hormone	67	3e-10
<a href="#">emb Z38127 OCGRORHM</a>	O.cuniculus gene for growth hormone	67	3e-10
<a href="#">emb X17594 OKGHII</a>	O.keta RNA for growth hormone II, sGHII	67	3e-10
<a href="#">emb X12546 OOGH</a>	Ovine gene for growth hormone	67	3e-10
<a href="#">emb X72947 BBGHMRNA</a>	B.hubalis mRNA for growth hormone	67	3e-10
<a href="#">gb M37310 SHPGHOV</a>	Ovine growth hormone gene, complete cds.	67	3e-10
<a href="#">emb X53325 SSPGH</a>	S.scrofa growth hormone mRNA.	67	3e-10
<a href="#">gb M22761 PIGGHMA</a>	Pig growth hormone mRNA.	67	3e-10
<a href="#">gb U28388 CAU28388</a>	Carassius auratus growth hormone mRNA, parti...	63	1e-09
<a href="#">gb S73969 S73969</a>	growth hormone [Amia calva-bowfin, mRNA Partia...	63	4e-09
<a href="#">gb M63713 FNAGH</a>	Pangasius pangasius growth hormone mRNA, comple...	63	4e-09
<a href="#">gb L27835 PBGHHA</a>	Pangasianodon gigas growth hormone (GH) mRNA, ...	63	4e-09
<a href="#">emb X60474 CIPGH</a>	C.idellus (Grass carp) mRNA for growth hormone	61	2e-08
<a href="#">emb X13670 CCGH</a>	Cyprinus carpio mRNA for growth hormone	61	2e-08
<a href="#">emb X60473 HNPGH</a>	H.nobilis (Bighead carp) mRNA for growth hormone	61	2e-08
<a href="#">gb M27000 CYIGH</a>	Cyprinus carpio growth hormone (GH) mRNA, compl...	61	2e-08
<a href="#">emb X51969 CCGHG</a>	Cyprinus carpio growth hormone gene	61	2e-08

<a href="#">emb X60475 HMPGH</a>	<i>H.mulitrix</i> (Silver carp) mRNA for growth hormone	61	2e-08
<a href="#">gb AF062745 AF062745</a>	<i>Protopterus annectens</i> growth hormone precu...	61	2e-08
<a href="#">gb M94348 HYPSCGH</a>	<i>Hypophthalmichthys molitrix</i> growth hormone (s...	61	2e-08
<a href="#">gb S58867 S58867</a>	ypGH= growth hormone [ <i>Acanthopagrus latus</i> -yell...	59	7e-08
<a href="#">gb U01301 U01301</a>	<i>Sparus aurata</i> growth hormone mRNA, complete cds.	59	7e-08
<a href="#">emb X59377 ABGHOR</a>	<i>A.butcheri</i> mRNA for growth hormone	59	7e-08
<a href="#">emb Y12578 CEGHGEM</a>	<i>C.elaphus</i> gene encoding growth hormone	59	7e-08
<a href="#">emb X06962 PMPRGH</a>	Red sea bream mRNA for pregrowth hormone (pr...	59	7e-08
<a href="#">gb S54890 S54890</a>	growth hormone [ <i>Sparus aurata</i> -gilthead seabrea...	59	7e-08
<a href="#">gb S52027 S52027</a>	growth hormone [ <i>Rana catesbeiana</i> -bullfrogs, ad...	59	7e-08
<a href="#">gb J00008 BOVGH</a>	bovine growth hormone (presomatotropin) gene an...	59	7e-08
<a href="#">gb U01143 SSU01143</a>	<i>Solea senegalensis</i> growth hormone mRNA, comp...	59	7e-08
<a href="#">gb AF034386 AF034386</a>	<i>Bos indicus</i> growth hormone mRNA, complete cds	59	7e-08
<a href="#">emb V00111 BTGROW</a>	Bovine mRNA for growth hormone.	59	7e-08
<a href="#">emb X14601 XIGHA</a>	<i>Xenopus laevis</i> mRNA for growth hormone A	59	7e-08
<a href="#">gb M62901 MYIGH</a>	Mink growth hormone mRNA, 3' end.	59	7e-08
<a href="#">emb X59786 MVRNAGF</a>	<i>M.vison</i> gene for growth factor	59	7e-08
<a href="#">gb M27325 BOVGHC</a>	Bovine growth hormone mRNA, complete cds.	59	7e-08
<a href="#">emb X56120 MYMKGH</a>	Mink mkGH mRNA for growth hormone	59	7e-08
<a href="#">gb L43629 LALGHR</a>	<i>Lateolabrax japonicus</i> growth hormone (GH) mRNA,...	59	7e-08
<a href="#">gb L43627 SEKGNR</a>	<i>Sebasticus marmoratus</i> growth hormone (GH) mRNA...	59	7e-08
<a href="#">gb M57764 BOVGHGH</a>	Bovine growth hormone gene, complete cds.	59	7e-08
<a href="#">gb M23439 PAIFGH</a>	Flounder growth hormone (fGH) mRNA, complete cds.	59	7e-08
<a href="#">emb X12887 POGH</a>	Flounder mRNA fragment for growth hormone	59	7e-08
<a href="#">gb M23813 BOVGROWP</a>	<i>Bos taurus</i> adrenocorticotropic hormone (ACTH...	59	7e-08
<a href="#">emb X15055 POGHR</a>	Flounder ( <i>Paralichthys olivaceus</i> ) mRNA for gro...	59	7e-08
<a href="#">gb AF052192 AF052192</a>	<i>Trichosurus vulpecula</i> growth hormone precu...	59	7e-08
<a href="#">gb U16816 LCU16816</a>	<i>Lates calcarifer</i> growth hormone gene, promot...	59	7e-08
<a href="#">gb S78253 S78253</a>	somatotropin [ <i>Morone saxatilis</i> -striped bass, p...	59	7e-08
<a href="#">gb U19788 SSU19788</a>	<i>Sus scrofa</i> growth hormone mRNA, complete cds.	57	3e-07
<a href="#">gb AF069399 AF069399</a>	<i>Carassius auratus</i> growth hormone II mRNA, ...	57	3e-07
<a href="#">emb X61938 SSGCH</a>	<i>S.salar</i> gene for growth hormone I	57	3e-07
<a href="#">emb X65716 DLGRHO</a>	<i>D.labrax</i> mRNA for growth hormone	55	1e-06
<a href="#">gb M24066 ANGGROHOR</a>	<i>Anguilla japonica</i> growth hormone mRNA, comp...	53	4e-06
<a href="#">emb X12520 RCGHR</a>	Bullfrog mRNA for growth hormone	53	4e-06
<a href="#">gb S66470 S66470</a>	pregrowth hormone [ <i>Esox lucius</i> -northern pike, ...	53	4e-06
<a href="#">gb L04688 ONHGROHOR</a>	Chum salmon growth hormone gene, complete cds.	53	4e-06
<a href="#">gb M21573 SMOCHSAM</a>	Salmon ( <i>S.salar</i> ) growth hormone gene, comple...	53	4e-06
<a href="#">gb U14535 ONU14535</a>	<i>Oncorhynchus nerka</i> type-2 growth hormone gen...	53	4e-06
<a href="#">gb J03797 SMOCHRTS</a>	<i>S.gairdneri</i> (rainbow trout) growth hormone (...	53	4e-06
<a href="#">gb AB001865 AB001865</a>	<i>Coregonus lavaretus</i> DNA for growth hormon...	53	4e-06
<a href="#">emb Z23067 CFGROHOR</a>	<i>C.familiaris</i> mRNA for growth hormone	51	2e-05
<a href="#">gb U14551 ONU14551</a>	<i>Oncorhynchus nerka</i> type-1 growth hormone gen...	51	2e-05
<a href="#">gb D50368 SEOGH</a>	<i>Seriola quinqueradiata</i> gene for growth hormone...	51	2e-05
<a href="#">gb M97765 TILGH2X</a>	<i>Tilapia nilotica</i> growth hormone (GH2) gene, e...	51	2e-05
<a href="#">gb M84774 TILGROWHM</a>	<i>Tilapia nilotica</i> growth hormone gene, comp...	51	2e-05
<a href="#">gb M97766 TILGH1X</a>	<i>Tilapia nilotica</i> growth hormone (GH1) gene, e...	51	2e-05
<a href="#">gb M16253 BOVGHMT</a>	Bovine alternative growth hormone mRNA, exon ...	51	2e-05
<a href="#">gb U19787 SSU19787</a>	<i>Sus scrofa</i> growth hormone mRNA, complete cds.	51	2e-05
<a href="#">gb AF086787 AF086787</a>	<i>Verasper variegatus</i> growth hormone precurs...	51	2e-05
<a href="#">emb Y11732 OMTIGHGEN</a>	<i>Oreochromis mossambicus</i> tigh gene	51	2e-05
<a href="#">gb M15894 HUMCS3</a>	Human chorionic somatomammotropin hCS-3 gene.	47	3e-04
<a href="#">emb V00573 HSPLAC</a>	Human mRNA encoding placental lactogen hormone.	47	3e-04
<a href="#">gb M25118 HUMCS2</a>	Human chorionic somatomammotropin (HCS) mRNA, ...	47	3e-04
<a href="#">gb J00118 HUMPLB</a>	Human placental lactogen hormone (PL-4) mRNA, ...	47	3e-04
<a href="#">gb L16555 MACGHVAR</a>	Monkey growth hormone-variant mRNA, complete...	47	3e-04
<a href="#">gb K90470 HUMGHV</a>	Human growth hormone variant (HGH-V) gene, com...	47	3e-04
<a href="#">gb U02293 MMU02293</a>	<i>Macaca mulatta</i> growth hormone-variant gene, ...	47	3e-04
<a href="#">gb M13438 HUMGHN</a>	Human growth hormone gene (HGH-N), complete cds.	47	3e-04
<a href="#">gb J03071 HUMGHCSA</a>	Human growth hormone (GH-1 and GH-2) and cho...	47	3e-04
<a href="#">emb V00520 HSGROW2</a>	Human germ line gene for growth hormone (pre...	47	3e-04
<a href="#">gb AF006061 AF006061</a>	<i>Homo sapiens</i> placental growth hormone isof...	47	3e-04
<a href="#">emb V00519 HSGROW1</a>	Human messenger RNA for growth hormone (pres...	47	3e-04

gb J03756 HUMGHVA	Human growth hormone-variant (GH1) and growth...	47	3e-04
gb M15895 HUMCS5	Human chorionic somatomammotropin CS-5 pseudog...	47	3e-04
emb Y00593 HSSOMA	Human gene for somatomammotropin (hormone).	47	3e-04
gb AF006060 AF006060	Homo sapiens placental growth hormone 20kD...	47	3e-04
gb M38451 HUMGHVP	Human placenta-specific growth hormone mRNA, ...	47	3e-04
gb K02401 HUMCS1	Human chorionic somatomammotropin gene hCS-1, ...	47	3e-04
gb J00289 HUMPLA	Human placental lactogen hormone (CSH1) gene, ...	47	3e-04
gb U63807 FRU63807	Fugu rubripes growth hormone (GH) gene, comp...	45	0.001
dbj D29737 FAIGH	Flounder gene for growth hormone, complete cds	43	0.005
emb X14602 XLGHE	Xenopus laevis mRNA for growth hormone B	43	0.005
gb 882528 882528	growth hormone [Lepisosteus osseus=long-nosed ...	41	0.019
emb Z32691 ECT7DM1	E.coli (HM174) pT7T7/T7H DNA, 11271 bp	39	0.075
emb Z32693 ECT7DM3	E.coli pT7hGH_pl DNA, 6160bp	39	0.075
gb AF075648 AF075648	Equus caballus microsatellite LEX046	37	0.30
gb L16556 MACGHE	Monkey growth hormone mRNA, complete cds and fl...	37	0.30
gb U48221 SAU48221	Sparus aurata growth hormone gene, complete ...	37	0.30
gb L16552 MACCSOMAA	Monkey chorionic somatomammotropin-1 mRNA, ...	35	1.2
gb L16554 MACCSOMAC	Monkey chorionic somatomammotropin-3 mRNA, ...	35	1.2
dbj D10638 ONHSGSL3	Chum salmon gene for somatolactin, exon 4 a...	35	1.2
emb X75926 MMABC1	M.musculus abc1 mRNA	35	1.2
dbj D10640 ONHPSOL	Chum salmon mRNA for somatolactin, complete cds	35	1.2
emb Z83821 HS296K21	Human DNA sequence from PAC 296K21 on chrom...	35	1.2
emb X15000 MMIRX2	Mus musculus mRNA for iroquois homeobox prote...	35	1.2
emb AL020991 HS884M20	Homo sapiens DNA sequence from PAC 884M20...	35	1.2
gb L16553 MACCSOMAB	Monkey chorionic somatomammotropin-2 mRNA, ...	35	1.2
gb AF023258 MMFATP3	Mus musculus fatty acid transport protein (...	35	1.2
emb Z54336 HSL25G12	Human DNA sequence from cosmid L25G12, Hunt...	33	4.8
gb U63884 AAU63884	Anguilla anguilla somatolactin precursor mRN...	33	4.8
gb U37008 MXU37008	Nyctococcus xanthus socD (socD500 allele) and...	33	4.8
gb U63803 AMU63803	Arothron maculatus growth hormone (GH) gene, ...	33	4.8
gb AF029308 HTRCBCHR9	Homo sapiens chromosome 9 duplication of ...	33	4.8
gb U50932 PAU50932	Pseudomonas aeruginosa glucose uptake regula...	33	4.8
gb U90307 HSU90307	Human iroquois-class homeodomain protein IRX...	33	4.8

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

®

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

## 7.4 Anexo 4

### 7.4.1 Iniciadores en CDS de la GH.

Los iniciadores se muestran en la Tabla 8.4 y las posiciones en la Figura 8.4.

Tabla 7.4 Iniciadores en CDS (Internos) de la GH seleccionados.

Iniciador	Secuencia	Tm (°C)	$\Delta G$ Loop	$\Delta G$ Dim.	Máximo	Otros (+)
a)Exon2_5'(mam/p)	agcacctgcaccaactggctgc	67.7	-0.8	-8.9	TCCA ACGT	1
b)Exon2_5'(pez)	cagctgacaaaatgttcctgc	58.4	-0.5	-10.1	CAGCTG GTCGAC	2
c)Exon3_5'(mam)	agagatcagacctggagctgct	64.0	0.5	-8.3	AGCT TCCA	1
d)Exon3_5'(pez)	ttcctgctggatttctgtaact	58.4	-0.2	-4.7	TCC AGG	0
e)Exon4_5'(mam)	ctgctgctcatccagtcgtggc	67.7	-0.5	-5.0	CCA GGT	0
f)Exon4_5'(pez_1)	atcgactgattgagtcytggga	60.3	-0.1	-8.8	TCCA AGCT	0
g)Exon4_5'(pez_2)	ctggcttgcttcaagaaggaca	62.1	-0.2	-5.4	CTTG GAAC	1
h)Exon5_5'	gcttcaagaaggacmtgcacaa	60.3	-1.0	-8.9	TCCA ACGT	8
i)Exon2_3'(mam)	gtgtcagcagccagttggtgca	65.9	-0.8	-8.9	TCCA ACGT	7
j)Exon2_3'(pez)	gcaggaatatttctcagctg	58.4	0.9	-10.1	CAGCTG GTCGAC	2
k)Exon2_3'(mix)	gagccagttggtgcaggtggtg	65.9	0.2	-8.9	TCCA ACGT	9
l)Exon3_3'(mam)	ccgggatggtctctgagaagca	65.9	0.4	-9.8	CCGG GCCC	0
m)Exon3_3'(pez)	cgatgtattcagagttacagaa	56.5	-0.1	-4.2	TGTA ACAT	0
n)Exon4_3'	cyttcaggtccttcagcttctc	62.1	0.5	-8.3	AGCT TCCA	>10
o)Exon4_3'(mam/a)	gccacagccacgactggatgag	67.7	-0.7	-5.0	CCA GGT	1
p)Exon4_3'(pez)	gactggggaactcccagactc	65.9	-3.7	-8.1	TGGG ACCC	1
q)Exon5_3'	tgtgcatgtccttcttgaarca	58.4	-1.7	-8.9	TCCA ACGT	3

Obtención de nuevos genes de la hormona del crecimiento (GH) en vertebrados

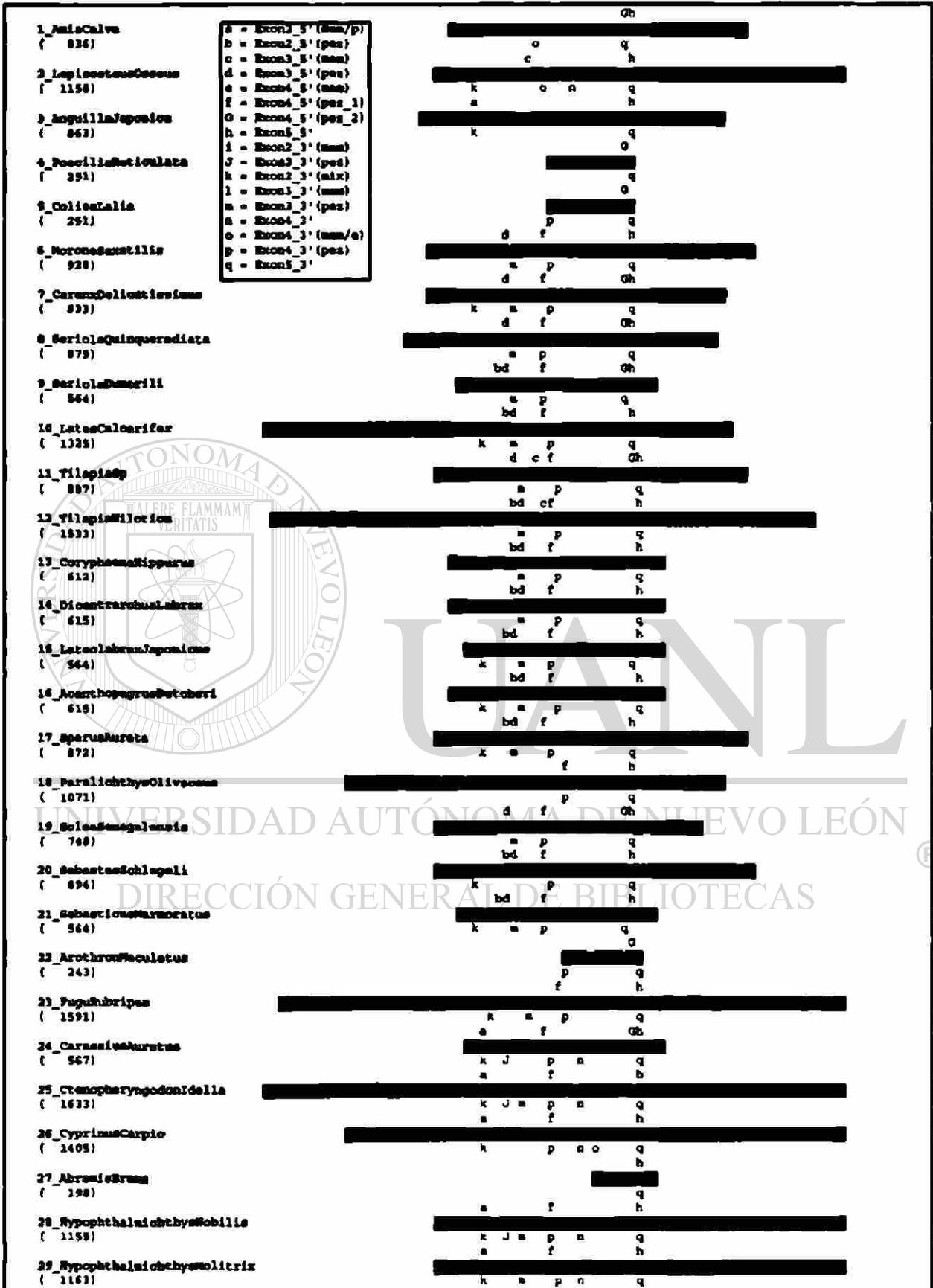
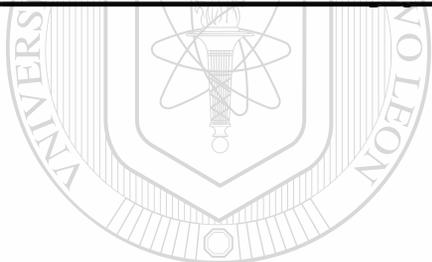
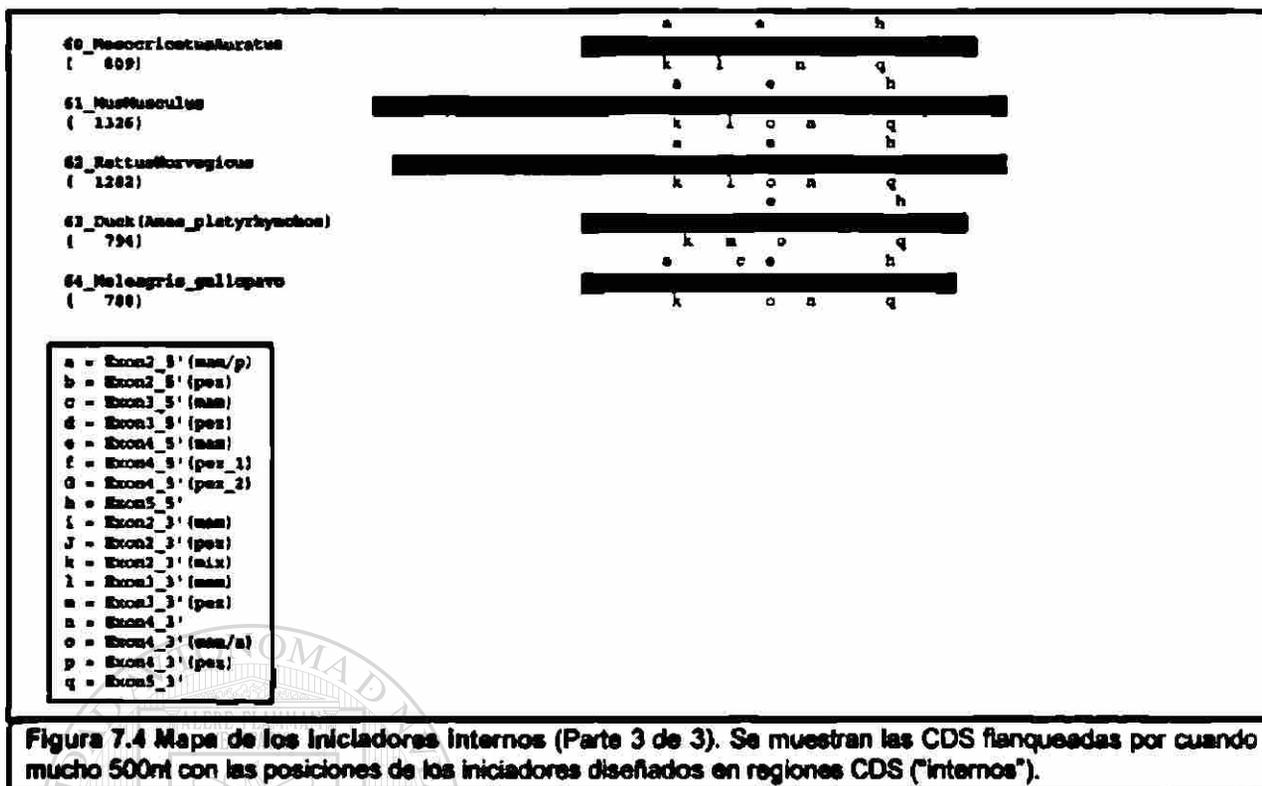


Figura 7.4 Parte 1 de 3 (Continua en la siguiente página).

Obtención de nuevos genes de la hormona del crecimiento (GH) en vertebrados

30_IctalurusPunctatus ( 1603)	[Redacted] a f Gh k J a p n q a f h
31_PangasiusodonBigas ( 1161)	[Redacted] k J a p n q
32_PangasiusPangasius ( 603)	[Redacted] a f b k J a p n q b d e Gh
33_CoregonusAutumnalis ( 742)	[Redacted] a n q d c f h
34_OncorhynchusKisutch ( 982)	[Redacted] a p n q d c f h
35_OncorhynchusTschawytzsch ( 1138)	[Redacted] a p n q a b d c f h
36_OncorhynchusEta ( 1622)	[Redacted] k n p n q b d c f h
37_SalmoGairdneri ( 1623)	[Redacted] a p n q b d c h
38_CoregonusLavaretus ( 1623)	[Redacted] a q Gh
39_XenopusLaevis ( 486)	[Redacted] q h
40_XenopusLaevis ( 420)	[Redacted] a a q Gh
41_RanaCatesbeiana ( 654)	[Redacted] k l n q a c e h
42_GallusGallus ( 1333)	[Redacted] k n c a n q a n c e h
43_CapraHircus ( 1545)	[Redacted] f k l o n q a n c e h
44_BosTaurus ( 1634)	[Redacted] f k l o n q a n c e h
45_BubalusArmenusBubalis ( 654)	[Redacted] k l n q
46_CapricornisCrispus ( 288)	[Redacted] a n c e h
47_OvisAries ( 1634)	[Redacted] f k l o n q a n c e h
48_GiraffaCamelopardalis ( 896)	[Redacted] k l o n q a n c e h
49_CervusElaphus ( 948)	[Redacted] f k l o n q
50_CervusElaphus ( 290)	[Redacted] a n c e h
51_BasScrofa ( 1333)	[Redacted] k l o n q a n c e h
52_CanisFamiliaris ( 720)	[Redacted] k l o n q a n c e h
53_CanisFamiliaris ( 431)	[Redacted] k l o n q n c e h
54_FelisCatus ( 813)	[Redacted] k l o n q a n c e h
55_MustelaVison ( 783)	[Redacted] k l o n q a n c e h
56_CrytolagusCuniculus ( 1339)	[Redacted] k l o n q a n c e h
57_EquusCaballus ( 764)	[Redacted] k l o n q c e i h
58_MacacaMullatta ( 1454)	[Redacted] k l o n q c e h
59_HomoSapiens ( 1634)	[Redacted] a q

Figura 7.4 Parte 2 de 3 (Continúa en la siguiente página).



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

## Capítulo 8

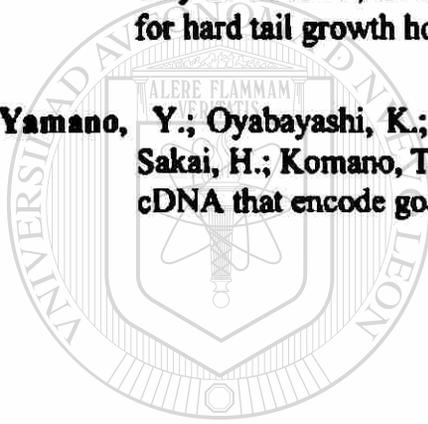
### Referencias Bibliográficas

- Abdel-Meqid, S. S.; Shieh, H-S.; Smith, W. W.; Dayringer, H. E.; Violand,, B. N. y Bentle, L. A. 1987. Three dimensional structure of a genetically engineered variant of porcine growth hormone; *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*; 84 : 6434-6437.
- Agellon, L. B.; Chen, T. T. 1986. Rainbow trout growth hormone: molecular cloning of cDNA and expression in *Escherichia coli*. *DNA*, Dec;5(6):463-71 .
- Altschul, Stephen F., Thomas L. Madden, Alejandro A. Schäffer, Jinghui Zhang, Zheng Zhang, Webb Miller, and David J. Lipman (1997), "Gapped BLAST and PSI-BLAST: a new generation of protein database search programs", *Nucleic Acids Research* 25:3389-3402.
- Ascacio-Martinez, J. A. I. ; Barrera-Saldaña H. A. 1994. A dog growth hormone cDNA codes for a mature protein identical to pig growth hormone. *Gene*, 143:277-280.
- Ascacio-Martinez, J. A. I. ; Barrera-Saldaña H. A. 1994. Sequence of a cDNA encoding horse growth hormone. *Gene*, 143:299-300.
- Ausubel F. M., Brent R., Kingston R. E., Moore D. D., Seidman J. G., Smit J. A., Struhl K. 1992. Short Protocols in Molecular Biology 3<sup>rd</sup> Ed., John Wiley & Sons, Inc.
- Behncken Stuart, Rowlinson Scott, Rowland Jennifer, Conway-Campbell Becky, Monks Thea A. and Waters Michael. 1997. Aspartate 171 Is the Major Primate-specific Determinant of Human Growth Hormone. *The Journal of Biological Chemistry*. 272(43):27077-27083.
- Breslauer. Kenneth J.; Frank Ronald; Blöcker Helmut & Marky, Luis A. 1986. Predicting DNA duplex stability from the base sequence. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. 83:3746-3750.
- Carlacci, L.; Kuo-Chen, C. y Maggiora, G. M. 1991. A heuristic approach to predict the tertiary structure of bovine somatotropin; *Biochemistry*, 30 : 4389-4398.
- Castro-Peralta, F. ; Barrera-Saldaña H. A. 1995. Cloning and sequencing of cDNA encoding the cat growth hormone. *Gene*, 143:277-280.

- Darwin, Charles Robert. 1859. *The Origin of Species*.
- De Voss, A. M.; Ultsch, M. y Kossiakoff, A. A. 1992. Human growth hormone and extracellular domain of its receptor : crystal structure of the complex; *Science*, 255 : 306-312.
- Engels Bill, University of Wisconsin Genetics M. Madison, WI, EUA. *Amplify* v1.2b.
- Escamilla, L.L, Barrera-Saldaña H.A. 1995. Biosíntesis de la hormona del crecimiento humano recombinante (HGHR) en *Pichia pastoris* y *Escherichia coli*. Tesis de Maestría. Facultad de Medicina de la UANL.
- Gallardo-Blanco, H. L.; Barrera-Saldaña H. A. 1998. Construcción de Cepas de *Pichia pastoris* sobreproductoras de hormona recombinante del crecimiento bovino. Tesis de Maestría. Facultad de Medicina de la UANL.
- Goetz Susan E., Hamilton Stanley R., Vogelstein Bert. 1985. Purification of DNA from Formaldehyde Fixed and Paraffin Embedded Human Tissue. *Biochemical and Biophysical Research Communications* 130:118-126.
- Gordon D. F.; Quick, D.P.; Erwin, C. R.; Donelson, J. E. y Maurer, R. A. 1982. Nucleotide sequence of the bovine growth hormone chromosomal gene; *Mol. and Cel. Endocrinology* 33:81-95.
- Graf L, Li CH, Bewel TA. 1975. Selective reduction and alkylation of the COOH-terminal disulfide bridge in bovine growth hormone. *Int J Pept Protein Res.* 7:667.
- Harrison, J.; Molloy, P.L.; Clark, S.J. 1994. Direct cloning of polymerase chain reaction products in an XcmI T-vector. *Anal Biochem.* 216(1):236-236.
- Hertz, G.Z.; Hartzell, G.W. 3d; Stormo G.D. 1990. Identification of consensus patterns in unaligned DNA sequences known to be functionally related. *Comput. Appl. Biosci.* 6(2):81-92.
- Higgins DG, Thompson JD, Gibson TJ. 1994. CLUSTAL W: improving the sensitivity of progressive multiple sequence alignment through sequence weighting, position-specific gap penalties and weight matrix choice. *Nucleic Acids Research* Nov 11;22(22):4673-4680
- Ingraham, H.A.; Chen, R.P.; Mangalam, H.J.; Elsholtz, H.P.; Flynn, S. E.; Lin, C.R.; Simmons, D.M.; Swanson L.; Rosenfeld, M.G. 1988. A tissue-specific transcription factor containing a homeodomain specifies a pituitary phenotype. *Cell.* 55(3):519-529.

- Juskevich, J.C. y Guyer, C.G. 1990. Bovine growth hormone ; Human food safety evaluation; *Science*, 249:875-884.
- Li, Wen-Hsiung & Graur, Dan. 1991. Fundamentals of Molecular Evolution. 1-2.
- Li, Wen-Hsiung & Graur, Dan. 1991. Fundamentals of Molecular Evolution. 69-98.
- Miller, W.L.; Eberhardt, N.L. . 1983. Structure and evolution of the growth hormone gene family. *Endocr. Rev.* Spring 4(2):97-130.
- Niall, H.D.; Hogan, M.L.; Sauer, R.; Rosenblum, I.Y. and Greenwood, F.C. 1971. Sequences of pituitary and placental lactogenic and growth hormone : Evolution from a primordial peptide by gene reduplication. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 68:866-869.
- Niall, H.D.; Hogan, M.L.; Tregear, G. W.; Segre, G.V.; Hwang, P. and Friesen, H. 1973. The chemistry of growth hormone and the lactogenic hormones; *Rec. Prog. Horm. Res.* 29:387-416.
- Nicoll, Charles S; Mayer Gregg L; Russell Sharon M. 1986. Structural Features of Prolactins and Growth Hormones That Can Be Related to Their Biological Properties. *Endocrine Reviews.* 7(2):169-203.
- O' Brien, S.J. & Clegg, M.T. 1993. Genomes and evolution; *Current Opinion in Genetics & Development*; 3(6) 835-836.
- Sambrook J., F. F. Fritsh and T. Maniatis. 1989. Molecular cloning: A laboratory manual 2nd Ed., *Cold spring harbor laboratory press.*
- Santomé, J. A.; Dellacha, J.M.; Paladini, A.C.; Peña, C.; Biscoglio, M.J.; Daurat, S.T.; Poskus, E. y Wolfstein, C. E. M. 1973. Primary structure of bovine growth hormone; *Eur. J. Biochem*, 37:164-170.
- Sato, N.; Watanabe, K; Murata, K.; Sakaguchi, M.; Kariya, Y.; Kimura, S.; Nonaka, M. y Kimura, A. 1988 Molecular cloning and nucleotide sequence of tuna growth hormone cDNA.; *Biochimi et Biophys Acta*, 949:35-42.
- Seeburg, P.H. 1982. The human growth hormone gene family: Nucleotide sequence show recent divergence and predict a new polipeptide hormone. *DNA.* 1:239-249.
- Sherwood L.S., Handwerber S., McLaurin W.E. and Lanner M. 1971. Aminoacid sequence of human placental lactogene. *Nature* 233:59.

- Souza Sandra C., Frick G. Petter, Wang Xinzhong, Kopchick John, Lobo Raysildo, Goodman H. Maurice. 1995. A single arginine residue determines species specificity of the human growth hormone receptor. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* 92:959-963.
- van Helden, J.; Andre B.; Collado-Vides, J. 1998. Extracting regulatory sites from the upstream region of yeast genes by computational analysis of oligonucleotide frequencies. *J. Mol. Biol.* 281(5):827-842.
- White, C.T.; Hardies S.C.; Hutchison C.A. 3d, Edgell, M.H. . 1984. The diagonal-traverse homology search algorithm for locating similarities between two sequences. *Nucleic Acids Research.* Jun 11;12(1 Pt 2):751-766.
- Yamakawa, M.; Wathahiki, M.; Kamioka, Y.; Yamamoto, M.; Tanaka, M.; Nishiguichi, Y. y Nakashima, K. 1990. Nucleotide sequence of DNAC and primary structure for hard tail growth hormone; *Biochimi et Biophys Acta*; 1087:247-249.
- Yamano, Y.; Oyabayashi, K.; Okuno, M.; Yato, M.; Kioka, N.; Manabe, E.; Hashi, J.; Sakai, H.; Komano, T.; Utsumi, K. e Iritani, A. 1988. Cloning and sequencing of cDNA that encode goat growth hormone. *FEBS Lett*, Feb 15; 228(2), 301-304.



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

®

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

# RESUMEN AUTOBIOGRÁFICO

Víctor Manuel Treviño Alvarado

Candidato para el Grado de Maestro en Ciencias con  
Especialidad en Biología Molecular e Ingeniería Genética

**Tesis:** OBTENCIÓN DE NUEVOS GENES DE LA HORMONA DE  
CRECIMIENTO EN VERTEBRADOS

**Campo de Estudio:** Evolución Molecular

**Biografía:**

Datos Personales: Nacido en Monterrey Nuevo León, el 16 de Agosto de 1970, hijo de Bonifacio Arturo Treviño Neavez y María Rita Alvarado Martínez.

**Educación:**

Egresado del Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey (1989-1994), grado obtenido Ingeniero en Sistemas Electrónicos. Egresado del Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey (1986-1988), grado obtenido Técnico en Procesamiento de Datos.

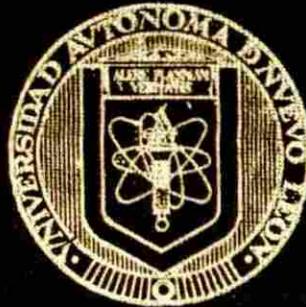
**Experiencia Profesional:**

Programador, diseñador y asesor en sistemas computacionales desde marzo de 1988 hasta septiembre de 1998.



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL



COMPORTAMIENTO HIDRAULICO Y GEOQUIMICO  
DEL ACUIFERO GRANULAR DE LA CUENCA DE  
PAREDON-ICAMOLE, ENTRE LOS ESTADOS DE  
NUEVO LEON Y COAHUILA, EN MEXICO

Por

EUGENIO HERNANDEZ RICO

Como requisito parcial para obtener el Grado de  
MAESTRIA EN CIENCIAS con Especialidad en  
Hidrología Subterránea

Mayo, 1999

COMPORTAMIENTO HIDRAULICO Y GEOQUIMICO  
DEL ACUIFERO GRANULAR DE LA CUENCA DE  
PAREDON-ICAMOLE, ENTRE LOS ESTADOS DE  
NUEVO LEON Y COAHUILA, EN MEXICO

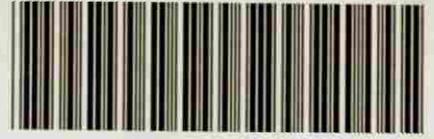
TM

GB1032

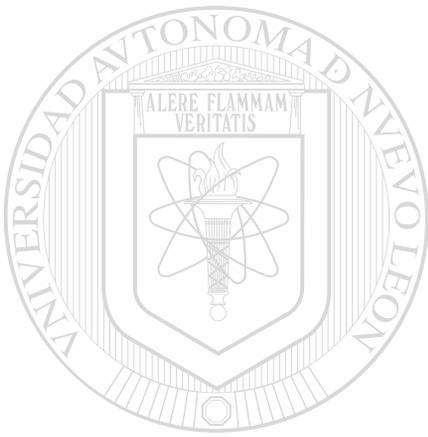
.N8

H42

C.1



1080087876



# UANL

---

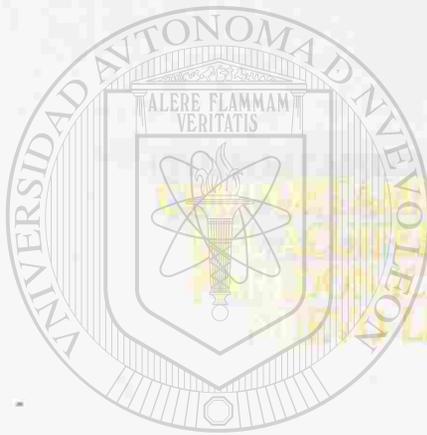
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL



PROYECTO HIDRÁULICO Y GEOMÓRFICO DEL ACÍFERO  
DE LA ZONA DE LA SIERRA DE LOS  
REYES, ENTRE LOS ESTADOS DE  
NUEVO LEÓN Y COAHUILA, EN MÉXICO

UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

EUGENIO HERNÁNDEZ RICO

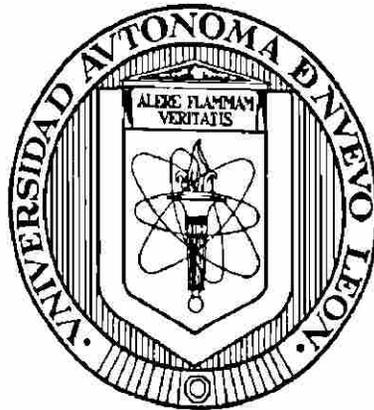
Como requisito parcial para obtener el Grado de  
MAESTRÍA EN CIENCIAS con Especialidad en  
Hidrología Subterránea

MAYO 1999

Mayo, 1999

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL



**COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO Y GEOQUÍMICO DEL ACUÍFERO  
GRANULAR DE LA CUENCA DE PAREDÓN-ICAMOLE, ENTRE LOS  
ESTADOS DE NUEVO LEÓN Y COAHUILA, EN MÉXICO**

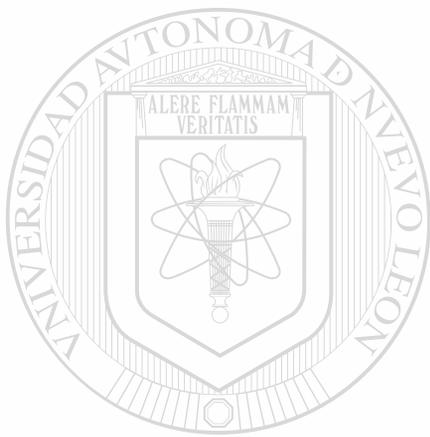
Por

**EUGENIO HERNÁNDEZ RICO**

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Como requisito parcial para obtener el Grado de  
**MAESTRIA EN CIENCIAS con Especialidad en  
Hidrología Subterránea**

Mayo, 1999



# UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



**COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO Y GEOQUÍMICO DEL ACUÍFERO  
GRANULAR DE LA CUENCA DE PAREDÓN-ICAMOLE,  
ENTRE LOS ESTADOS DE NUEVO LEÓN  
Y COAHUILA, EN MÉXICO**



Aprobación de la Tesis:

---

M. C. Víctor Manuel Aguilera Reyes  
Asesor Interno de la Tesis

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

---

Dr. Juan Manuel Rodríguez Martínez  
Asesor Externo de la Tesis

---

Dr. Ricardo González Alcorta  
Secretario de Postgrado

Monterrey, N. L. a 10 de febrero de 1999

**DR. RICARDO GONZÁLEZ ALCORTA**  
**SECRETARIO DE ESTUDIOS DE POSTGRADO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**  
**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN**  
**P R E S E N T E**

Estimado Dr. González

Por medio de la siguiente y de la manera más atenta me dirijo a Usted, para solicitar la tramitación correspondiente, para sustentar mi examen de grado de Maestría en Ciencias, especialidad en Hidrología Subterránea, con la presentación del trabajo de tesis titulado **"COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO Y GEOQUÍMICO DEL ACUÍFERO GRANULAR DE LA CUENCA DE PAREDÓN-ICAMOLE, ENTRE LOS ESTADOS DE NUEVO LEÓN Y COAHUILA, EN MÉXICO"**, lo anterior de acuerdo al reglamento de exámenes profesionales de nuestra Institución.

Sin más por el momento, quedo de Usted y aprovecho la ocasión para enviarle un cordial y atento saludo.

Atentamente

  
**Ing. Eugenio Hernández Rico**  
Tesisista

Monterrey, N. L. a 10 de febrero de 1999

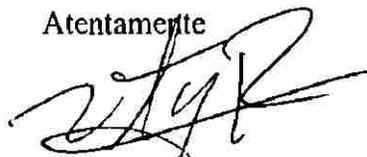
**DR. RICARDO GONZÁLEZ ALCORTA**  
**SECRETARIO DE ESTUDIOS DE POSTGRADO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**  
**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN**  
**P R E S E N T E**

Estimado Dr. González

Por este conducto me permito comunicar a Usted, que el Ing. Eugenio Hernández Rico, pasante de la Maestría en Ciencias, con especialidad en Hidrología Subterránea, ha concluido con su trabajo de tesis titulado **"COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO Y GEOQUÍMICO DEL ACUÍFERO GRANULAR DE LA CUENCA DE PAREDÓN-ICAMOLE, ENTRE LOS ESTADOS DE NUEVO LEÓN Y COAHUILA, EN MÉXICO"**, por lo que no hay ningún inconveniente para atender a su solicitud de Examen de Grado con los requisitos que exige el reglamento de exámenes profesionales de nuestra Institución, he de agradecerle pasar las instrucciones necesarias para que le de tramite correspondiente en ese departamento a su digno cargo.

Sin más por el momento, quedo de Usted agradeciendo de antemano su atención. ®

Atentamente



**M. C. Víctor M. Aguilera Reyes**  
Asesor Interno de Tesis

Monterrey, N. L. a 10 de febrero de 1999

**DR. RICARDO GONZÁLEZ ALCORTA**  
**SECRETARIO DE ESTUDIOS DE POSTGRADO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**  
**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN**  
**P R E S E N T E**

Estimado Dr. González

Por este conducto me permito comunicar a Usted, que el Ing. Eugenio Hernández Rico, pasante de la Maestría en Ciencias, con especialidad en Hidrología Subterránea, ha concluido con su trabajo de tesis titulado **"COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO Y GEOQUÍMICO DEL ACUÍFERO GRANULAR DE LA CUENCA DE PAREDÓN-ICAMOLE, ENTRE LOS ESTADOS DE NUEVO LEÓN Y COAHUILA, EN MÉXICO"**, por lo que no hay ningún inconveniente para atender a su solicitud de Examen de Grado con los requisitos que exige el reglamento de exámenes profesionales de nuestra Institución, he de agradecerle pasar las instrucciones necesarias para que le de tramite correspondiente en ese departamento a su digno cargo.

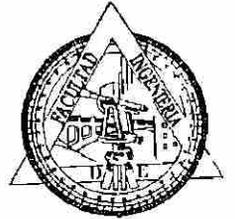
Sin más por el momento, quedo de Usted agradeciendo de antemano su atención.

Atentamente

  
**Dr. Juan M. Rodríguez Martínez**  
Asesor Externo de Tesis



**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON**  
**FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL**  
**SECRETARIA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO**



**COMPROBANTE DE CORRECCION**

Tesista: EUGENIO HERNÁNDEZ RICO

Tema de la tesis: COMPORTAMIENTO HIDRAULICO Y GEOQUIMICO DEL ACUIFERO GRANULAR DE LA CUENCA DE PAREDÓN - ICAMOLE, ENTRE LOS ESTADOS DE NUEVO LEON Y COAHUILA, EN MEXICO.

Este documento certifica la corrección DEFINITIVA del trabajo de tesis arriba identificado, en los aspectos: ortográfico, metodológico y estilístico.

Recomendaciones adicionales:

(Ninguna)

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEÓN

Nombre y firma de quien corrigió:

Arq. Ramón Longoria Ramírez

El Secretario de Posgrado:

Dr. Ricardo González Alcorta

Ciudad Universitaria, a 12 de febrero de 1999.

## AGRADECIMIENTOS

### A Dios Nuestro Señor

A Ti, Dios mío, por permitirme cumplir con algo que ya te debía, gracias por estar siempre conmigo, por escucharme y cuidar de mí donde quiera que me encuentre.

Gracias Dios mío, por haberme permitido conocer a todas aquellas personas buenas durante el desarrollo del presente trabajo.

A La **Universidad Autónoma de Nuevo León**, por la formación académica recibida durante la maestría, etapa de mi vida que nunca olvidaré, de igual forma agradezco a todos mis maestros del Instituto de Ingeniería Civil.

Al **Dr. Juan Manuel Rodríguez Martínez**, por brindarme su confianza, su asesoría e invaluable consejos tanto técnicos como personales, que me permitieron valorar lo bueno de contar con un amigo que es también mi maestro, lo que hizo posible llevar a buen término la presente tesis. De igual forma agradezco a su señora esposa, **Irina Pavlovna de Rodríguez**, por su gentil comprensión y amabilidad durante las consultas telefónicas y personales con el Dr.

Al **M. C. Víctor Manuel Aguilera Reyes**, por su apoyo y orientación recibida durante toda la maestría, como profesor y como amigo.

A la **Comisión Nacional del Agua**, en particular a las gerencias de las ciudades de Saltillo, Coahuila y Monterrey, Nuevo León, por las facilidades otorgadas para la obtención de información pluviométrica y meteorológica de la zona en estudio.

A las **Ings. Químicas, Martha Carrasco y Martha Herrejón**, catedráticas del I. I. de la UNAM y del I. I. Civil de la UANL, respectivamente, por su orientación y apoyo incondicional en el desarrollo del tema de Química del Agua.

Al **Ing. Alfonso Alvarez Manilla**, por su apoyo recibido en la caracterización físico-química del agua subterránea.

A la **M. I. Teresa López**, catedrática de la Facultad de Ingeniería de la UAQ, por su incondicional apoyo, consejos y buena disponibilidad para orientarme durante y después de la maestría.

A los Ingenieros **Eduardo Alvarez, Filiberto Zuñiga y Jorge Martínez**, catedráticos de la Facultad de Ingeniería de la UAQ, de quienes recibí siempre buenos consejos y un decidido apoyo para continuar con los estudios de postgrado.

A todo el personal del **Departamento de Hidráulica** de la Gerencia de Estudios de Ingeniería Civil de la CFE, por brindarme su confianza y apoyo durante el desarrollo de la presente tesis, en especial al **Ing. Alfredo Jiménez**, por su apoyo otorgado durante y después de mi estancia en el departamento que a su digno cargo tiene.

A los Ings. **Víctor Mata, Juan M. Nieto y Carlos Tejeda**, pertenecientes al Departamento de Geohidrología, de la CFE, por darme la oportunidad de integrarme a su grupo de trabajo y de igual forma, aprender y desarrollarme como profesional en el campo de mi especialidad.

A todo el personal del Departamento de Geotécnia del Instituto de ingeniería Civil de la UANL, por su confianza otorgada durante mi estancia en la maestría, en especial a los Ings. **Ignacio Rincón, Inés Fuentes, Santiago Salazar, Juan M. Rojas** y a mi gran compañero el Ing. **Fidel Sánchez** por su incondicional apoyo.

A mis compañeros de la maestría, **Rafael, Alvaro, Edgar, Braulio y Rogelio** por brindarme su apoyo durante mi estancia en el Instituto. Agradezco muy en especial a mi compañero **Francisco Torres**, por su ayuda recibida durante los trabajos de campo de la presente tesis.

A **mi familia**, por el apoyo incondicional que siempre me han brindado, primero en la licenciatura y posteriormente en la maestría. Gracias por darme la oportunidad de continuar estudiando, sin importar el que me aleje de ustedes aunque sea físicamente.

A la Familia **San Vicente Hernández**, por darme la confianza y su apoyo incondicional para sentirme uno más de la familia, en especial agradezco los buenos consejos otorgados por el Ing. **Jorge San Vicente** y su señora esposa **Feliza Hernández**, siempre con el fin de mejorar como profesional y como persona.

Un agradecimiento especial a la Familia Luna Pedraja, Sra. **Crucita, Melesio, Nanis, Lalo, Oscar, Lucí, Martina, Pati, Cinthi y Karin**, por brindarme su cariño, confianza y amistad, con la finalidad de alentarme siempre, en los momentos más difíciles de la maestría y de mi estancia en Monterrey, a todos los quiero mucho.

A todos mis **compañeros de trabajo**, de la Residencia de Geohidrología de la CFE, en Cd. Madero, Tamaulipas, ya que sin su apoyo no hubiese sido posible la culminación de la presente tesis. Agradecimientos especiales a la C. **Elvira Rosas** e Ing. **Mario Blancarte**, por su confianza, sus consejos y apoyo incondicional que siempre me han brindado.

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

A todas aquellas personas que de alguna forma contribuyeron para la realización del presente trabajo.

## DEDICATORIAS

### *A Tí Padre mio y Dios mio*

Por darme la vida, por ser como soy, por cuidarme, cuidar a mi familia y a toda esa gente tan linda que quiero. Té dedico no solamente el presente trabajo, sino también mi vida y te agradezco infinitamente por todo el amor que me das cada día.

### *A mis Padres*

**Sr. Eugenio Hernández Llanito y Sra. Ma. Santos Rico de Hernández**, porque en sus brazos aprendí las primeras letras de mi vida, sentí el amor de sus corazones y vi el ejemplo más claro de honestidad, sencillez, trabajo y humildad. Papá, Mamá, nunca tendré las suficientes palabras para agradecerles y decirles el amor tan grande que significan para mí, simplemente, el presente trabajo es una pequeña muestra de mi gratitud hacia ustedes.

### *A mis Hermanos*

**Verónica Hernández Rico**, por que siempre he admirado tú fuerza y tenacidad para salir adelante, sin importar que tan grandes sean los problemas que pasen. Siempre haz sido y serás para mí, el ejemplo de lucha, responsabilidad y sobre todo de sabiduría para afrontar los problemas. Gracias Chatita por cuidarme, apoyarme y darme siempre buenos consejos cuando más los necesito.

**Zenón Hernández Rico**, a Tí hermano porque sabes cuanto té quiero, porque juntos desde pequeños hemos logrado muchas cosas y que este trabajo es una de ellas, realmente tú siempre estás conmigo apoyándome y orientándome para salir adelante. Gracias Muñe, por todo.

**David Rico García**, por que con tú llegada ha crecido no solamente la familia sino también la unión en ella, gracias por tú honestidad, amistad y apoyo incondicional que siempre me haz brindado.

### *A mi Vida*

**Teresa López Lara**, a Tí que desde que te conocí, mi vida fue diferente, gracias al amor, cariño, cuidados y protección que me haz brindado, nosé que tanto he cambiado, solo sé que todo lo que haga siempre estará dedicado a ti con todo mi amor.

### *A mis Sobrinos*

**Arturito y Alex**, por la alegría que han despertado en toda la familia con su llegada y principalmente porque con sus risas y juegos despiertan al niño interior que llevo dentro. Espero que algún día al leer las paginas de este trabajo, les sirva de motivación e interés para salir adelante.

### *A mis Abuelitos*

**Sra. Joaquína Flores de Rico y Silverio Hernández Martínez**, a ustedes que siempre me han demostrados su cariño y que son para mi simbolo de honestidad, sabiduría y constancia en el trabajo, los quiero mucho.

*A la memoria de mis Abuelitos*

Sra. **Antonia Llanito** y **Gregorio Rico**, como agradecimiento a todo el cariño que me brindaron y al cuidado que siempre me han dado, porque yo sé que siempre están ahí conmigo donde quiera que voy y que le piden a Dios que cuide a toda la familia.

A mi primo **Juan Antonio Llanito**, porque siempre ha sido para mí, ejemplo de lucha y tenacidad para salir adelante. Gracias primo por tus consejos otorgados cuando los necesite y por darme el valor de afrontar los retos que significan un estudio universitario.

A mi tía **Alicia Rico Flores** y a su familia, como agradecimiento a todas sus muestras de cariño para conmigo. Siempre serás, tía, una persona capaz de dar mucho cariño y comprensión para los que té queremos.

A mis tíos, **Esthelita** y **Joel**, como agradecimiento a su apoyo incondicional que siempre me han brindado y como admiración al cariño y amor que tienen, tanto como pareja como en su familia. Espero que nunca deje de verlos sonreír como ustedes me han enseñado.

A mi tía **Rosita Hernández**, como agradecimiento a la dedicatoria que nos hizo a todos sus sobrinos en la tesis que presento para obtener su título de licenciada, nunca estaremos a mano tía, ya que tú me llevas varios años brindándome cariño y apoyo cuando más lo he necesitado.

A todos mis **sobrinos**, que empiezan el recorrido por el conocimiento en las aulas de sus escuelas, esperando que algún día este trabajo sea motivo de continua superación.

A todos mis **primos**, por su amistad y cariño que nos une en la familia.

A toda mi familia y personas, que de una u otra forma contribuyeron para la elaboración de la presente tesis.

**DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS**

Dedico este trabajo en una forma muy especial a todos los niños del mundo, esperando que algún día ese mismo mundo les pertenezca.

# INDICE

Capítulo	Página
INDICE . . . . .	i
RESUMEN . . . . .	viii
<b>1. INTRODUCCIÓN . . . . .</b>	<b>1</b>
1.1 Antecedentes . . . . .	1
1.2 Objetivos . . . . .	2
1.3 Hipótesis . . . . .	2
1.4 Generalidades . . . . .	3
1.5 Descripción General del Área de Estudio . . . . .	6
<b>2. CLIMATOLOGÍA . . . . .</b>	<b>10</b>
2.1 Clima de la Región . . . . .	10
2.2 Temperatura . . . . .	10
2.3 Precipitación . . . . .	12
2.4 Evaporación . . . . .	15
<b>3. HIDROLOGÍA SUPERFICIAL . . . . .</b>	<b>16</b>
3.1 Localización del Área . . . . .	16
3.2 Red Hidrográfica . . . . .	16
3.3 Hidrometría del Río Patos-Salinas . . . . .	17
3.4 Balance Hidrológico . . . . .	18
3.4.1 Precipitación . . . . .	21
3.4.2 Evapotranspiración . . . . .	25
3.4.3 Infiltración y Escurrimiento . . . . .	26
3.4.4 Ecuación de Balance Hidrológico . . . . .	32
<b>4. GEOLOGÍA . . . . .</b>	<b>36</b>
4.1 Fisiografía . . . . .	36
4.2 Geología Estructural . . . . .	38
4.3 Estratigrafía . . . . .	39
4.4 Unidades Hidrogeológicas . . . . .	44
4.5 Fallamiento Regional Inferido . . . . .	44

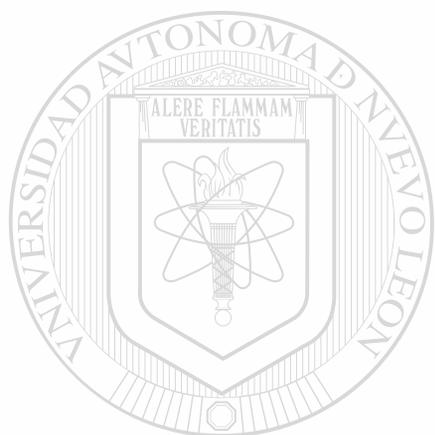
5. HIDROLOGÍA SUBTERRÁNEA . . . . .	50
5.1 Censo de Aprovechamientos . . . . .	50
5.2 Piezometría . . . . .	51
5.3 Flujo Subterráneo y Abatimientos . . . . .	54
5.4 Características Hidráulicas del Acuífero . . . . .	56
5.5 Recarga y Descarga del Acuífero . . . . .	58
6. QUÍMICA DEL AGUA SUBTERRÁNEA . . . . .	63
6.1 Muestreo y Análisis del Agua . . . . .	63
6.2 Distribución Espacial de Índices Geoquímicos . . . . .	65
6.3 Interpretación Hidrogeoquímica . . . . .	77
6.4 Diagrama de Schoeller . . . . .	79
6.5 Clasificación del Agua Mediante el Diagrama de Piper . . . . .	79
6.6 Clasificación del Agua en Relación con el Uso Agrícola . . . . .	83
6.7 Calidad del Agua Subterránea . . . . .	86
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES . . . . .	87
7.1 Conclusiones . . . . .	87
7.2 Recomendaciones . . . . .	89
BIBLIOGRAFIA. . . . .	92
ANEXOS. . . . .	96

Anexo A: Artículo de los Antecedentes de la Problemática Alimenticia, Originada por el Período de Sequía en México . . . . .	98
Tablas de Resultados de Hidrología Superficial . . . . .	101
Gráficas de Interpretación de Prueba de Bombeo . . . . .	133
Anexo B: Análisis Físicoquímicos de Muestras de Agua . . . . .	142
Norma Oficial Mexicana "NOM 127 SSA1-1996" . . . . .	159
Anexo C: Planos . . . . .	166

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura</b>	<b>Página</b>
1. Estados de la República Mexicana donde se localiza el área de estudio . . . . .	8
1.1 Localización del área de estudio . . . . .	9
2. Clasificación del clima en el área de estudio . . . . .	11
3. Imagen típica del mes de enero del desarrollo meteorológico de la República mexicana . . . . .	13
4. Desarrollo meteorológico en México, correspondiente al mes de mayo . . . . .	13
5. Imagen meteorológica de México correspondiente al mes de septiembre . . . . .	14
6. Imagen meteorológica correspondiente al mes de noviembre . . . . .	14
7. División de cuencas consideradas para el análisis del balance hidrológico . . . . .	20
8. Área de influencia de las estaciones pluviométricas en las cuencas analizadas para el balance hidrológico, mediante el uso de los polígonos de Thiessen . . . . .	22
9. Configuración de isoyetas medias anuales en la región donde se localizan las cuencas analizadas para el balance hidrológico . . . . .	24
10. Balance hidrológico en la Cuenca de Paredón-Icamole . . . . .	35
11. Fisiografía de la Cuenca de Paredón-Icamole . . . . .	37
12. Geología regional del área de estudio . . . . .	41
13. Cortes litológicos de algunos pozos localizados en la cuenca . . . . .	43
14. Localización de la falla regional de San Marcos . . . . .	45
15. Esquema hipotético y representativo del posible graben formado por las estructuras geológicas a escala regional . . . . .	46
16. Recarga y circulación del flujo subterráneo hacia la Cuenca de Paredón-Icamole . . . . .	48
17. Bloque diagramático representando la posible correlación de la Falla de San Marcos y las fuentes de aguas termales y azufrosas en la Cuenca de Paredón-Icamole . . . . .	49
18. Zonificación de abatimientos medios anuales en la Cuenca de Paredón-Icamole . . . . .	61

19. Recarga y descarga del acuífero granular de la Cuenca de Paredón-Icamole . . . . .	62
20. Diagrama de Schoeller . . . . .	81
21. Clasificación de la calidad del agua subterránea mediante el uso del diagrama de Piper . . . . .	82
22. Clasificación del agua según uso agrícola, mediante el diagrama de Wilcox . . . . .	85



UANL

---

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla</b>		<b>Página</b>
1.	Valores promedios de temperatura, evaporación y precipitación . . .	12
2.	Área de influencia de las estaciones en la Cuenca de Paredón-Icamole .	15
3.	Registro hidrométrico del río Patos-Salinas en la estación de Icamole .	17
4.	Volúmenes totales de precipitación en cada una de las cuencas . . .	21
5.	Volumen de evapotranspiración para las cuencas analizadas . . .	25
6.	Parámetros de la unidad hidrográfica de Clarck, para cada cuenca . .	26
7.	Valores del Coeficiente de Clarck . . . . .	27
8.	Valores del tiempo de concentración y de base del hidrograma de Clarck .	27
9.	Determinación del coeficiente de escurrimiento (N) en función del tipo de suelo que predomina en la cuenca . . . . .	29
10.	Determinación del coeficiente de escurrimiento (N) en función del tipo de vegetación que predomina en la cuenca . . . . .	30
11.	Valores de escurrimiento de una tormenta simulada mediante el modelo hidrológico . . . . .	28
12.	Determinación del volumen de escurrimiento que aporta cada cuenca al valle donde se localiza el acuífero en estudio . . . . .	31
13.	Valores de volúmenes de infiltración y escurrimiento en cada cuenca . .	32
14.	Correlación estratigráfica del área de estudio con la existente a escala regional . . . . .	40
15.	Censo de aprovechamientos . . . . .	52
16.	Piezometría y registro de abatimientos . . . . .	53
17.	Determinación del volumen de acuífero drenado . . . . .	59
18.	Resultados de los análisis físicoquímicos del agua subterránea . . . .	64
19.	Clasificación del agua subterránea mediante el diagrama de Piper . . .	80
20.	Clasificación del agua subterránea con relación al uso agrícola . . . . .	84

## LISTA DE GRÁFICAS

Gráfica	Página
1. Valores promedios de temperatura registrados en las estaciones climatológicas de Icamole y Chupaderos del Indio . . . . .	10
2. Ciclo de las precipitaciones en la cuenca de Paredón-Icamole . . . . .	12
3. Valores de evaporación media anual en la cuenca de Paredón-Icamole . . . . .	15
4. Hidrometría del río Patos-Salinas . . . . .	18
5. Registro del período de precipitación en la cuenca de Saltillo-Paredón . . . . .	23
6. Variación del contenido de Calcio en los aprovechamientos del acuífero en estudio . . . . .	66
7. Variación del contenido de Magnesio en los aprovechamientos del acuífero en estudio . . . . .	67
8. Variación del contenido de Sodio en los aprovechamientos del acuífero en estudio . . . . .	67
9. Variación del contenido de Bicarbonatos en los aprovechamientos del acuífero en estudio . . . . .	69
10. Variación del contenido de Cloruros en los aprovechamientos del acuífero en estudio . . . . .	70
11. Variación del contenido de Sulfatos en los aprovechamientos del acuífero en estudio . . . . .	71
12. Variación del contenido de Nitratos en los aprovechamientos del acuífero en estudio . . . . .	72
13. Variación del contenido de Sílice en los aprovechamientos del acuífero en estudio . . . . .	73
14. Variación del contenido de STD en los aprovechamientos del acuífero en estudio . . . . .	74
15. Variación en el valor de pH en los aprovechamientos del acuífero en estudio . . . . .	75
16. Variación en el valor de la Conductividad Eléctrica en los aprovechamientos del acuífero en estudio . . . . .	76
17. Variación en el valor de la Temperatura en los aprovechamientos del acuífero en estudio . . . . .	77

## LISTA DE PLANOS

### Plano

1. Localización del área de estudio
2. Hidrología superficial
3. Tipo de vegetación en las cuencas analizadas para el balance hidrológico
4. Tipo de suelo en las cuencas analizadas para el balance hidrológico
5. Geología del área de estudio
6. Localización de aprovechamientos en la Cuenca de Paredón-Icamole
7. Configuración de la elevación del nivel estático correspondiente al mes de enero de 1996
8. Configuración de la elevación del nivel estático correspondiente al mes de diciembre de 1996
9. Configuración de los abatimientos registrados en el acuífero de la Cuenca de Paredón-Icamole, durante el periodo comprendido por los meses de enero a diciembre de 1996
10. Localización de aprovechamientos muestreados
11. Configuración de los valores de Calcio en los aprovechamientos de la Cuenca de Paredón-Icamole
12. Configuración de los valores de Magnesio en los aprovechamientos de la Cuenca de Paredón-Icamole
13. Configuración de los valores de Sodio en los aprovechamientos de la Cuenca de Paredón-Icamole
14. Configuración de los valores de Bicarbonatos
15. Configuración de los valores de Cloruros
16. Configuración de los valores de Sulfatos
17. Configuración de los valores de Nitratos
18. Configuración de los valores de Sílice
19. Configuración de los valores de STD
20. Configuración de los valores de pH
21. Configuración de los valores de Conductividad Eléctrica

## RESUMEN

**Eugenio Hernández Rico**

**Fecha de Obtención de Grado: Mayo, 1999**

**Universidad Autónoma de Nuevo León**

**Facultad de Ingeniería Civil**

**Título del Estudio: COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO Y GEOQUÍMICO DEL ACUÍFERO GRANULAR DE LA CUENCA DE PAREDÓN-ICAMOLE, ENTRE LOS ESTADOS DE NUEVO LEÓN Y COAHUILA, EN MÉXICO.**

**Número de Páginas: 95**

**Candidato para el Grado de Maestría en Ciencias con especialidad en Hidrología Subterránea**

**Área de Estudio: Ciencias de la Tierra**

**Propósito y Método del Estudio:** La presente investigación, tuvo como objetivo principal: conocer el comportamiento hidráulico y geoquímico del acuífero granular que se aloja en el Valle de la Cuenca de Paredón-Icamole. Se realizó un censo de los aprovechamientos de agua subterránea localizados en el área, se registraron 32 obras; de las cuales 24 son pozos, 2 papalotes y 6 manantiales. Se seleccionaron aquellos que presentaron las condiciones adecuadas para tomar la profundidad del nivel estático, por lo cual se localizaron pozos piloto que se mantuvieron en observación. Mediante la piezometría realizada se trazaron configuraciones de las elevaciones del nivel estático correspondientes a los meses de enero y diciembre de 1996, lo cual permitió determinar los abatimientos medios anuales (de 0.35 a 1.2 m) que se originan en el acuífero mediante las descargas de los aprovechamientos registrados. También se determinó el esquema natural del flujo subterráneo, de igual forma se obtuvieron los parámetros hidráulicos del acuífero y una vez conocidos, se procedió a determinar el balance de aguas subterráneas.

**Contribuciones y Conclusiones:** El acuífero guarda un estado de equilibrio con respecto a la extracción y recarga (con tendencia a la sobreexplotación). El flujo subterráneo presenta una dirección preferencial de oeste a este. La calidad del agua que constituye al acuífero se determinó mediante el análisis fisico-químico de 16 muestras representativas del área en estudio. Mediante el diagrama de Shoeller se determinó que sólo un aprovechamiento (manantial El Antrisco) presenta concentraciones menores a los permitidos por la Secretaría de Salud (SS, México) y la Agencia Protectora del Medio Ambiente (EPA, Estados Unidos de América), y esta clasificada como agua de uso potable. En la clasificación según Piper, se determinaron tres tipos de agua, Mixta-Sulfatada-Clorurada, Mixta-Bicarbonatada-Calcica y Mixta-Clorurada. En la clasificación para uso agrícola, se empleó el diagrama de Wilcox, encontrándose tres principales grupos de agua, el C4-S1 el cual corresponde a un contenido muy alto de sales, pero bajo en sodio, el C4-S2 que representa muy alto contenido de sales y contenido medio de sodio y el C3-S1 con alto contenido de sales y bajo en sodio.

**FIRMA DEL ASESOR INTERNO: \_\_\_\_\_**

**FIRMA DEL ASESOR EXTERNO: \_\_\_\_\_**

# 1. INTRODUCCIÓN

Actualmente, la agricultura de regadío desempeña un papel importante en la economía mundial. Casi tres cuartas partes de la superficie de la tierra carecen de la humedad adecuada para una producción agrícola óptima. Las tierras áridas y semiáridas ocupan aproximadamente el 50% de la superficie terrestre y gran parte de los países en vías de desarrollo se sitúan en estas regiones.

En México, las regiones más áridas se localizan en el Norte del país; particularmente en el Noreste, donde la mayor parte de la agricultura se limita a valles fluviales y áreas cercanas alimentadas por pequeños canales de irrigación. En esta zona los suelos residuales son poco profundos, gravosos y con afloramientos rocosos, los cuales constituyen los acuíferos en medios granulares.

## 1.1 Antecedentes

En la región comprendida por los municipios de García en el Estado de Nuevo León y de Ramos Arizpe, en el Estado de Coahuila, se localiza la zona denominada Cuenca de Paredón-Icamole; es en esta zona donde es factible el desarrollo de proyectos agropecuarios, los cuales requieren del apoyo de las aguas subterráneas para su realización, razón por la cual es importante conocer la magnitud del potencial del recurso hidráulico subterráneo.

Son varios los trabajos que se han realizado en el noreste del país, de carácter geohidrológico, algunos de ellos por parte de la secretaría de Recursos Hidráulicos. Cabe mencionar los del Dr. Paul Waitz en 1947, el del Ing. Lorenzo Torres Izabal en 1953, los de los Ingenieros Luis de la Peña Porth y Benjamín Navarro G. en 1954, y el realizado por la compañía INSISA en 1972, denominado "Estudio Geohidrológico del Estado de Nuevo León", el cual contempla la explotación del agua subterránea para el abastecimiento del área metropolitana de la ciudad de Monterrey y para regadío en la región. Desde los inicios de los ochenta y hasta la fecha, la Universidad Autónoma de Nuevo León a través de las Facultades de Ingeniería Civil y de Ciencias de la Tierra ha venido desarrollando una serie de importantes trabajos enfocados a la explotación,

contaminación y aprovechamiento del agua subterránea. Cabe hacer notar que hay algunos otros trabajos realizados en este tema que no se mencionan pero que no por ello dejan de ser importantes.

En los trabajos mencionados, destaca la gran importancia que representa conocer los parámetros que rigen al agua subterránea, para tener un uso adecuado y una explotación equilibrada de la misma, lo que permita la apertura de nuevas zonas de riego, para eficientar e impulsar la agricultura en la región (antecedentes en el anexo A).

## **1.2 Objetivos:**

1. Conocer el comportamiento hidráulico del acuífero a nivel regional.
2. Estimar la magnitud de explotación y recarga del acuífero.
3. Determinar qué volumen se puede extraer sin inducir efectos desfavorables en el almacenamiento del acuífero, en el caso de no estar sobreexplotado.
4. Conocer la calidad del agua del acuífero.
5. Plantear una configuración general del comportamiento hidráulico y geoquímico del acuífero.

## **1.3 Hipótesis**

Mediante la aplicación de métodos y técnicas que integran los estudios de hidrología superficial (balance hidrológico), geoquímica, geología, geohidrología (balance de aguas subterráneas) y de calidad del agua subterránea, al acuífero granular alojado en la Cuenca de Paredón-Icamole, se determinará el coeficiente de escurrimiento que rige a la cuenca, el comportamiento hidráulico del flujo subterráneo (la dirección del flujo, los parámetros hidráulicos, los abatimientos medios anuales debidos a la extracción, la recarga del acuífero y la posible explotación del mismo) y la calidad del agua (clasificación del agua para uso potable y uso agrícola, considerando las normas oficiales mexicanas y las de organismos internacionales).

Los resultados obtenidos permitirán tener un mejor conocimiento del agua subterránea, para un aprovechamiento racional y ecológico de este recurso natural y para beneficio de la comunidad y la patria.

## 1.4 Generalidades

En la República Mexicana, la zona Noreste tiene una gran importancia en el desarrollo global del país, ya que dicha región, formada por los estados de Coahuila, Nuevo León y Tamaulipas, constituye una unidad económica muy completa. Para el desarrollo de las actividades principales que se practican en cada uno de estos Estados, ganadería, industria, agricultura y pesca, es de gran importancia el abastecimiento de agua, así como la creación de infraestructuras que permitan un mejor aprovechamiento de dicho recurso.

### Nuevo León

El Estado de Nuevo León se localiza en la parte nororiental de la República Mexicana, dentro de las coordenadas 23° 6' a 27° 50' de latitud Norte y en los 98° 17' a 101° 07' de longitud Oeste. Limita al norte con el Estado de Coahuila, los Estados Unidos de América -en la angosta zona fronteriza de Colombia- y el estado de Tamaulipas. Hacia el poniente limita con Coahuila, San Luis Potosí y Zacatecas (en el vértice de los límites de los cuatro estados). Al Sur limita con San Luis Potosí y con Tamaulipas, con este último comparte todo su límite oriental. El Estado de Nuevo León se extiende de forma irregular más sobre su eje norte-sur (excede los 500 Km) que en el sentido este-oeste. Su superficie abarca 64 081.94 Km<sup>2</sup> (figura N° 1).

La división municipal del estado no ha sufrido grandes variaciones, pues desde 1940 hasta 1978 estuvo constituido por 52 municipios y sólo se registró el cambio de nombre del de Pesquería Chica por el de Pesquería. El primero de Enero de 1979 el municipio de Colombia se anexó al de Anáhuac, por lo que la entidad quedó integrada por 51 municipios. La ciudad de Monterrey es la capital del estado, la cual, en pocos años, ha experimentado un crecimiento poblacional e industrial acelerado, por lo cual se considera una de las tres ciudades más importantes del país e influye grandemente en el progreso de la región.

Las vías de comunicación, que incluyen carreteras, vías ferreas y aeropuertos con que cuenta el Estado, han jugado un papel importante en el desarrollo histórico de la entidad y siguen siendo vitales para el funcionamiento de la economía estatal.

En el estado se localizan tres de las grandes provincias fisiográficas del país. La Sierra Madre Oriental, que domina todo el panorama occidental y meridional del Estado y cuyas sierras alargadas de calizas están alternadas con los valles amplios, figura como una cordillera de cumbres muy abruptas. La Gran Llanura de Norteamérica, que comienza en Nuevo León y se extiende por toda la parte central de los Estados Unidos de América se caracteriza por los abundantes lomeríos suaves que dominan el paisaje en su porción nororiental, a lo largo de una amplia franja paralela al río Bravo. La Llanura Costera del Golfo Norte abarca las tierras más bajas de Nuevo León y que por su morfología de llanuras aluviales extensas, es la zona del Estado llamada "plano inclinado".

En Nuevo León predominan los climas semisecos extremosos. La distribución de los climas secos y semisecos se aprecia principalmente en la región nororiental, la cual forma parte de la Gran Llanura de Norteamérica. En áreas menores de la región de la sierra, en la zona del Centro y Sur de la entidad se registran los climas semicálidos, templados y semifríos. La precipitación pluvial, cuenta con regiones que registran lluvias anuales mayores de 800 mm, por ello es importante la creación de infraestructuras que permitan un mejor aprovechamiento del agua.

## Coahuila

El Estado de Coahuila de Zaragoza ocupa la parte central de la franja de entidades continentales que hacen frontera, en el norte del país, con los Estados Unidos de América. Cuenta con una extensión territorial de 151, 578.37 Km<sup>2</sup>, el 7.8 % del total nacional. Se localiza entre los 24° 32' 13" y los 29° 52'47" de latitud norte; y entre los 99° 50'30" y los 103° 57' 03" de longitud oeste. Limita al norte con los Estados Unidos, por el oriente con Nuevo León; por el sur con Zacatecas y en un vértice, al sureste de la entidad, con el estado de San Luis Potosí; por el suroeste colinda con Durango y por el poniente con Chihuahua (figura N° 1).

Desde 1940 hasta la fecha, el estado de Coahuila ha sido estable en su división municipal. Actualmente cuenta con 38 municipios. La ciudad de Saltillo es la capital de la entidad, en donde se concentra gran parte de la industria de la región, que es actualmente una de las principales actividades que mayor relevancia económica tiene Coahuila; también está la ciudad de Monclova, la cual destaca por la importancia de su industria siderúrgica. Hacia el suroeste se ubica Torreón, ciudad que es el centro de las

operaciones comerciales y financieras de las ciudades conurbadas de la Comarca Lagunera. Actualmente esta región posee gran importancia por su agricultura, además de otras actividades como la avicultura y la fabricación de herramientas agrícolas.

El Estado de Coahuila está bien integrado a la red caminera del país, pues la entidad se comunica con la ciudad de México a través de la carretera federal No. 57. Con el noroeste, por medio de la carretera Saltillo-Torreón; y con Monterrey, por dos vías, la de Saltillo y la de Monclova. También posee una buena comunicación hacia el exterior del país, tanto en la frontera coahuilense, a través de Piedras Negras y Ciudad Acuña; como por Nuevo Laredo y Reynosa, Tamaulipas. En el Estado, es grande la extracción de minerales pesados, por lo que la infraestructura de ferrocarriles es de vital importancia para su desarrollo. Los principales centros ferroviarios convergen en Saltillo, Torreón y Monclova. La comunicación aérea también juega un papel importante en el desarrollo de la entidad; sus principales centros de operación son Torreón y Saltillo.

En la entidad, componen el paisaje las sierras alargadas y los extensos bolsones, o llanuras desérticas; figuran en este estado tres provincias fisiográficas; buena parte de su territorio se encuentra en la provincia de Sierras y Llanuras del Norte. La Sierra Madre Oriental penetra al estado por el sureste en dos ramales que son: los Pliegues Saltillo-Parras y las Sierras Transversales. Finalmente, al noreste, se localizan los terrenos predominantemente llanos de la Gran Llanura Norteamericana.

El estado de Coahuila está situado, en su mayor parte, en el oriente de una gran área climática denominada desierto de Chihuahua o desierto del Norte de México. Esta región, que fisiográficamente abarca extensas áreas de la Sierra Madre Oriental y la totalidad de la provincia de las Sierras y Llanuras del Norte, se extiende desde las Sierras Transversales de la Sierra Madre Oriental por todo el centro y oeste de Coahuila. Se caracteriza por poseer climas continentales, secos y muy secos, que van desde los semicálidos, predominantes en los bolsones coahuilenses, hasta los templados de las partes más altas y las más septentrionales.

Coahuila es una identidad con terrenos fundamentalmente áridos; los climas secos que predominan sobre la mayor parte de su superficie, son un factor determinante de muchas características del medio físico y, consecuentemente, de la geografía humana. El clima seco, los suelos muchas veces salinos, la escasez de aguas superficiales y

subterráneas, han condicionado el establecimiento de las poblaciones y formas peculiares de aprovechamiento de las tierras, que van desde la minería y el pastoreo de caprinos hasta la agricultura de riego. El factor que limita el crecimiento y progreso de la entidad ha sido siempre el agua. Muchísimos terrenos llanos son aptos para la agricultura y la ganadería intensiva, los cuales fueron desiertos salinos y a través del riego pudo lograrse su aprovechamiento. En este sentido, mientras no se encuentren nuevas fuentes acuíferas su aprovechamiento será muy restringido.

## **1.5 Descripción General del Área de Estudio**

### **Localización**

La zona de estudio (Cuenca Paredón-Icamole) se encuentra localizada en un área comprendida entre los 25° 48' y 25° 57' de latitud Norte y los 100° 42' y 100° 55' de longitud Oeste, con una extensión aproximada de 171.30 km<sup>2</sup>. Dicha zona queda dentro de la Región Hidrológica N° 24, denominada "Centro Norte Río Bravo", de la República Mexicana (plano N° 1).

### **Principales Localidades**

Las principales localidades comprendidas dentro de la Cuenca de Paredón-Icamole son las rancherías de la Azufrosa, San Joaquín y las Cuatas, pertenecientes al municipio de Ramos Arízpe en el estado de Coahuila y la ranchería el Milagro en el municipio de García, Nuevo León; cabe señalar que el poblado de Paredón, se localiza al noroeste de la cuenca en estudio, en la entrada del escurrimiento del río Patos, hacia la misma y el poblado de Icamole en el sureste, a la salida del escurrimiento (cambiado a río Salinas) de la cuenca, el primero formando parte del municipio de Ramos Arízpe, Coahuila y el otro de García, Nuevo León.

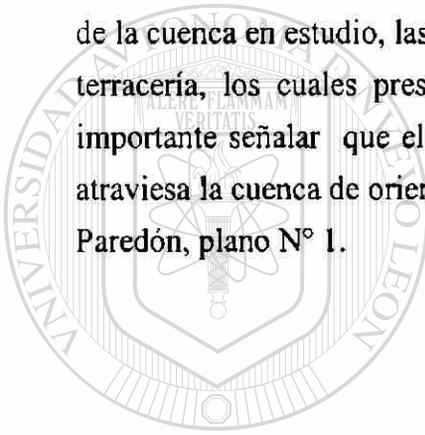
### **Colindancias**

La Cuenca de Paredón-Icamole, colinda hacia el poniente con el valle de Paredón, teniendo como parteaguas la sierra de la Azufrosa, la cual también define la colindancia en el lado sur, con el valle que forma la sierra de Chupaderos del Indio; en el

oriente limita con los cerros de la Cruz y el Coyote, en lado norte con las sierras el Maneadero y el Colorado.

### **Vías de comunicación**

La cercanía del área de estudio con la ciudad de Monterrey, N. L., la cual cuenta con diversos medios de comunicación aéreos y terrestres la hacen de fácil acceso. En particular, la vía más rápida es a través de la carretera estatal N° 16, que une la ciudad de Monterrey con la población de Villa de García y de ahí continua hacia la localidad de Icamole, en el mismo municipio de García. El otro acceso es por medio de la carretera Federal N° 40, la cual une la ciudad de Monterrey con la de Ramos Arízpe, Coahuila; de ésta continua un camino vecinal pavimentado hacia la localidad de Paredón; ya dentro de la cuenca en estudio, las diferentes rancherías se comunican por medio de caminos de terracería, los cuales presentan cierta dificultad de tránsito en época de lluvias. Es importante señalar que el ferrocarril que enlaza las ciudades de Monterrey y Torreón atraviesa la cuenca de oriente a poniente, teniendo como estación de paso la localidad de Paredón, plano N° 1.



# UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

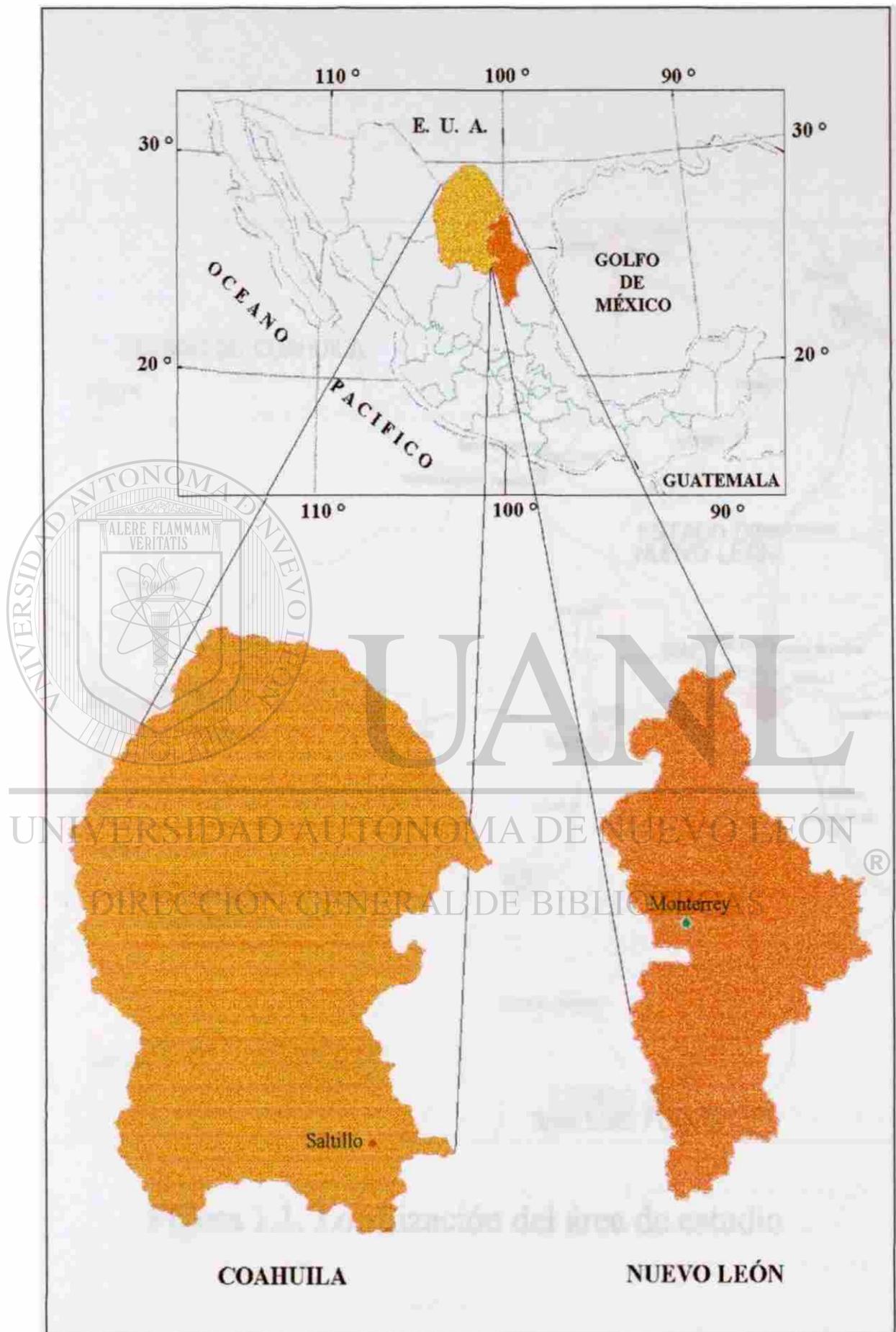
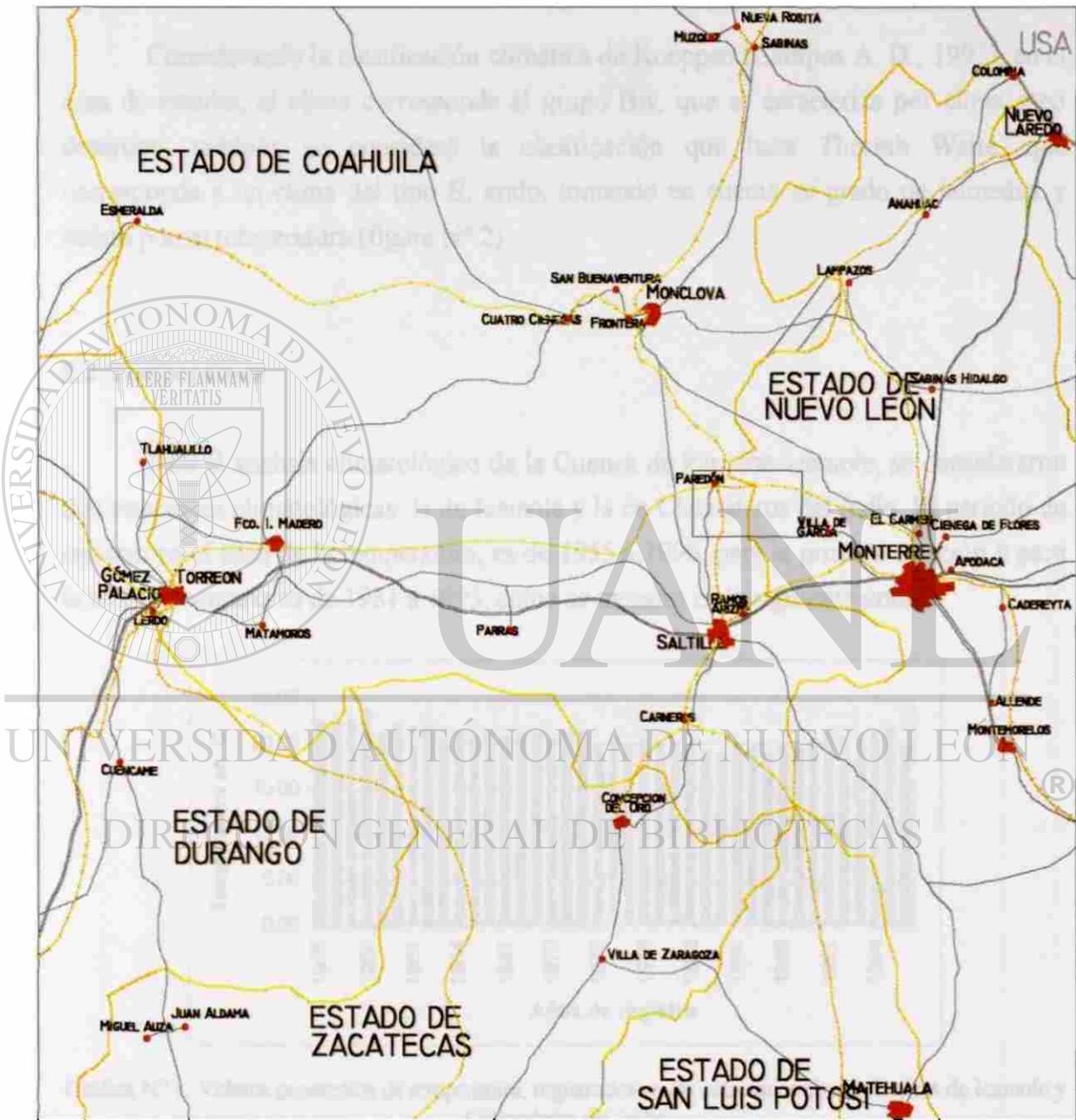


Figura N° 1. Estados de la República Mexicana en los que se localiza el área de estudio



**Figura 1.1. Localización del área de estudio**

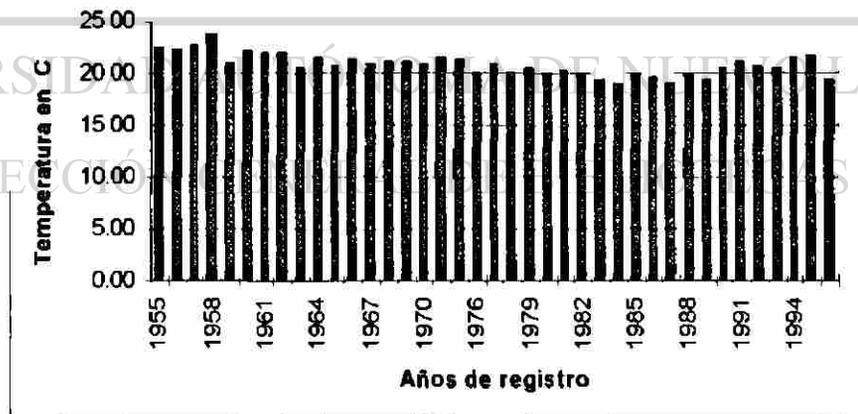
## 2. CLIMATOLOGIA

### 2.1 Clima de la Región

Considerando la clasificación climática de Koeppen (Campos A. D., 1992), en el área de estudio, el clima corresponde al grupo Bw, que se caracteriza por clima seco desértico; también se consideró la clasificación que hace Thornth Waite, que corresponde a un clima del tipo E, árido, tomando en cuenta su grado de humedad y cálido por su temperatura (figura N° 2).

### 2.2 Temperatura

Para el análisis climatológico de la Cuenca de Paredón-Icamole, se consideraron dos estaciones climatológicas: la de Icamole y la de Chupaderos del Indio. El periodo de registro en el caso de la temperatura, es de 1955 a 1996, para la primera estación y para la complementaria es de 1981 a 1995, como se muestra en la siguiente gráfica.



Gráfica N° 1. Valores promedios de temperatura, registrados en las estaciones climatológicas de Icamole y Chupaderos del Indio

El valor promedio de temperatura media anual para la zona de interés es de 20.3 °C, se registran temperaturas mínimas de 6.8 y 9.1 °C en los meses de Diciembre y Enero; en cambio, en los meses de Junio y Agosto la temperatura alcanza valores promedio de 30.6 y 31.2 °C respectivamente.

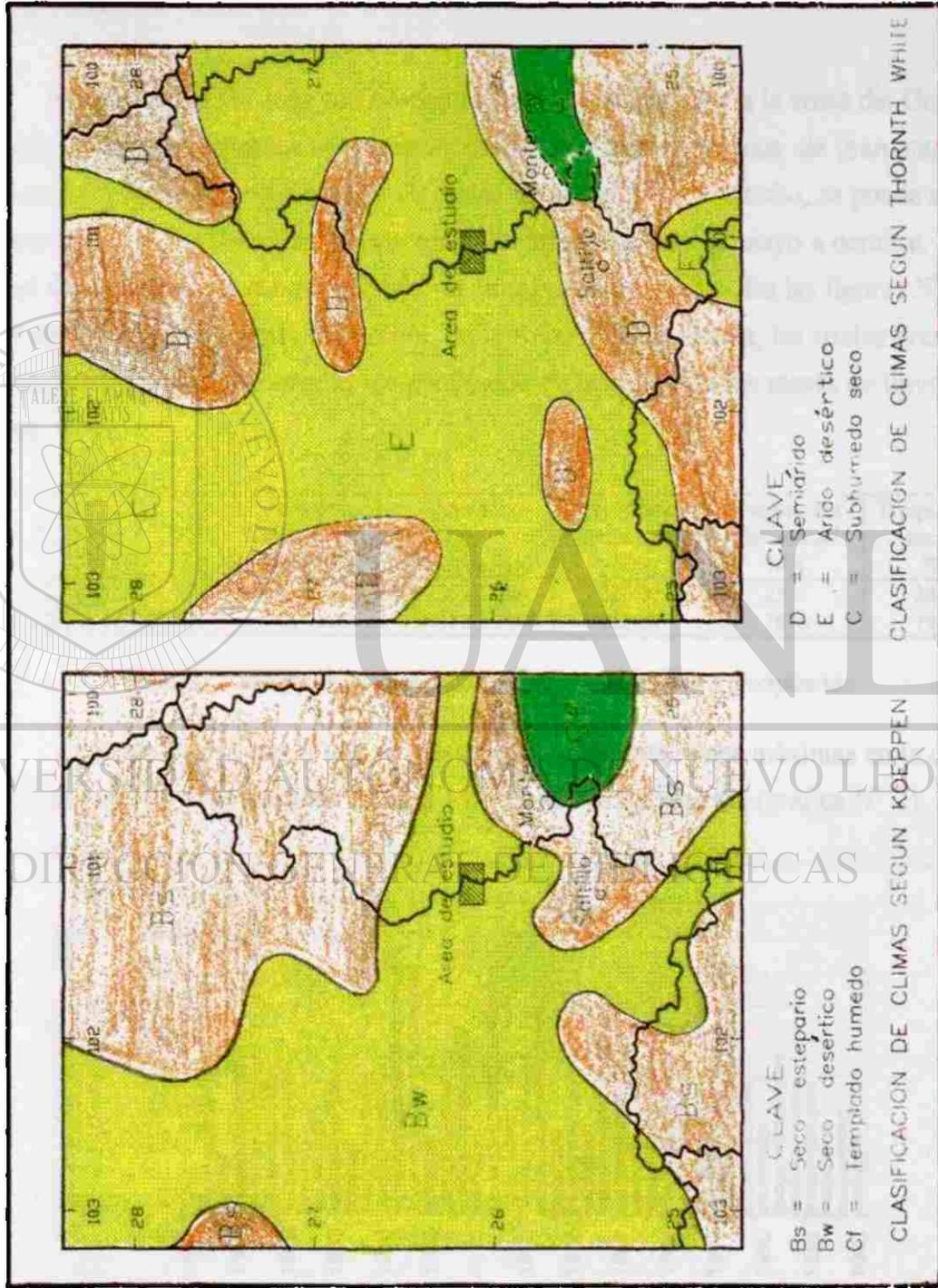


Figura N° 2. Clasificación del clima en el área de estudio

## 2.3 Precipitación

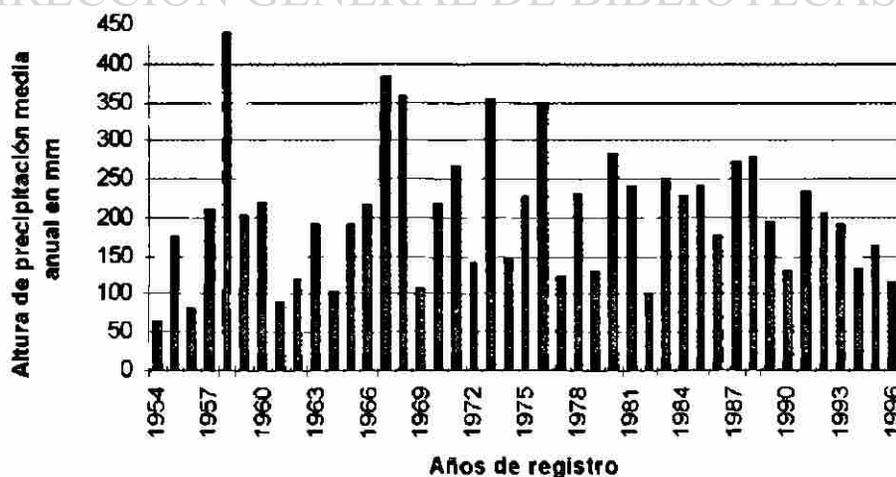
La precipitación media anual registrada en el área de estudio es de 205 mm en la estación Icamole y 212 mm en la de Chupaderos del Indio (tabla N° 1) con un valor mínimo de 89 mm en el año de 1961 y máximo de 442.4 mm en 1958, registrados en la estación Icamole.

A pesar de que la zona se encuentra relativamente cercana a la costa del Golfo de México, donde generalmente se presentan fenómenos meteorológicos de gran magnitud (ciclones y tormentas) y que afectan de forma parcial el área de estudio, se puede definir la temporada de lluvias como la comprendida entre los meses de mayo a octubre, en los que se alcanza un valor máximo de 80 mm en mayo y septiembre. En las figuras N° 3, 4, 5 y 6 se presentan imágenes de satélite, de la República Mexicana, las cuales presentan el comportamiento del desarrollo meteorológico de la región en los meses de lluvia y de estiaje.

Estación	N° Años de Registro (Precipitación)	Periodo de Registro (Precipitación)	Precipitación media anual Mm	Evaporación Media anual Mm	Temperatura media °C
Icamole	41	1955 a 1996	205.00	2555	20.9
Chupaderos de Indio	16	1981 a 1996	212.00	1676	19.8

Tabla N° 1. valores promedios de temperatura, evaporación y precipitación

La periodicidad con la que se presentan las precipitaciones máximas en la cuenca en estudio, varía en un intervalo de 12 a 14 años aproximadamente (gráfica N° 2).



Gráfica N° 2. Ciclo de las precipitaciones en la cuenca de Paredón-Icamole

En la siguiente imagen se presenta el desarrollo meteorológico que comúnmente se aprecia durante el mes de enero en el norte de la República mexicana. En particular, el noreste del país registra frentes fríos provenientes del hemisferio norte, los cuales originan un descenso en las temperaturas de la región (Boletín Meteorológico, CFE).

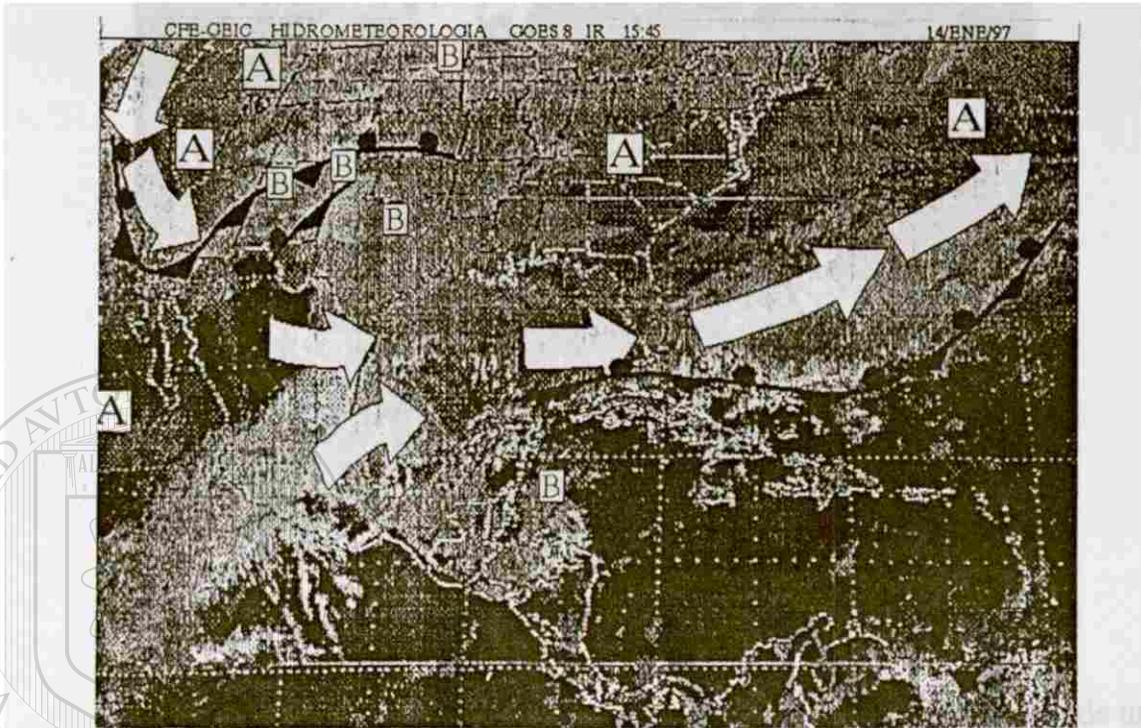


Figura N° 3. Imagen típica del mes de enero del desarrollo meteorológico de la República Mexicana

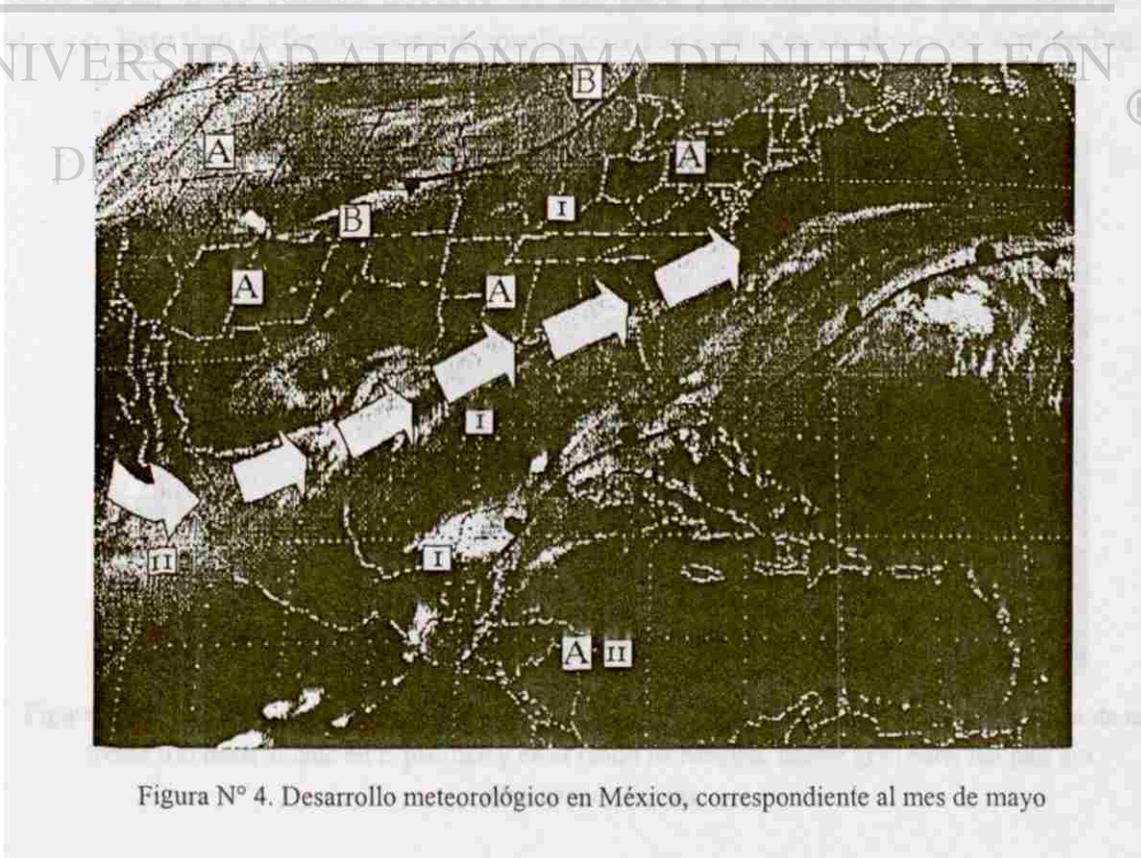


Figura N° 4. Desarrollo meteorológico en México, correspondiente al mes de mayo

En la figura anterior se aprecia una masa de aire frío que interacciona con la afluencia de aire húmedo tropical; dichos sistemas se debilitan con la corriente en chorro sobre la misma región, ocasionando aumentos de nublados con lluvias de moderadas a fuertes aisladas, en la parte noreste del país (Boletín Meteorológico, CFE).

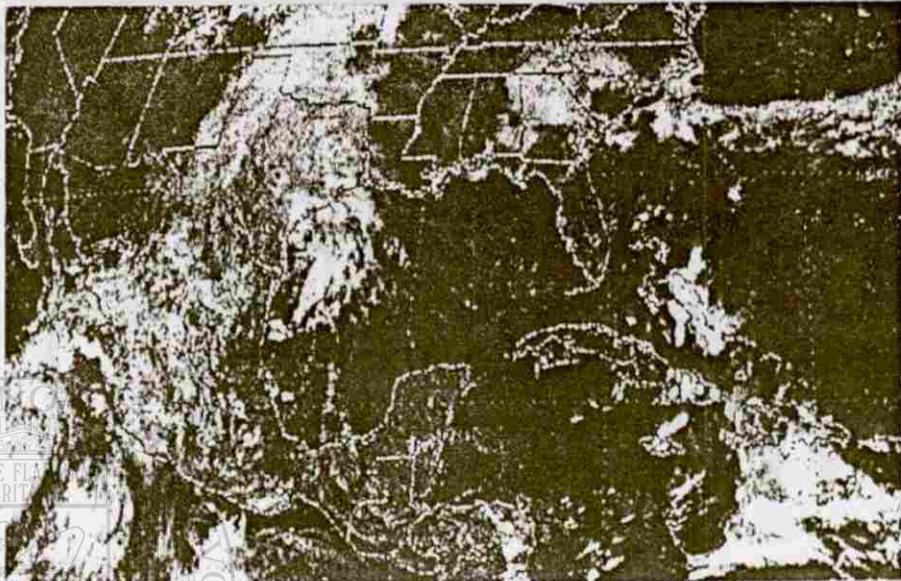


Figura N° 5. Imagen meteorológica de México correspondiente al mes de septiembre

La figura N° 5, muestra la presencia de un frente frío que se extiende desde una baja presión localizada en el centro del río Mississippi, hasta la parte media de Tamaulipas; dicho sistema favorece los nublados y precipitaciones en el noreste de México. Este tipo de fenómenos meteorológicos son comunes en el mes de septiembre.

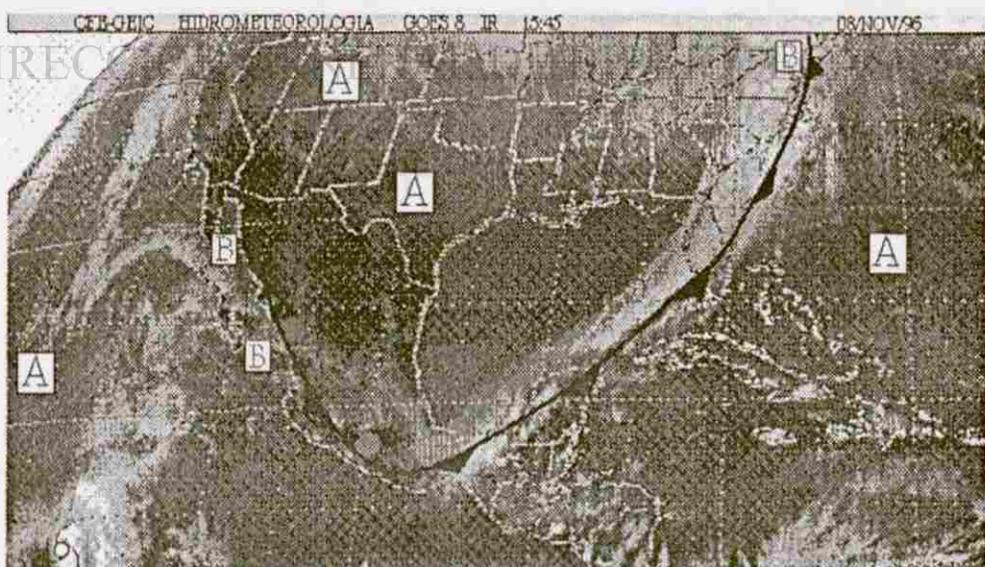
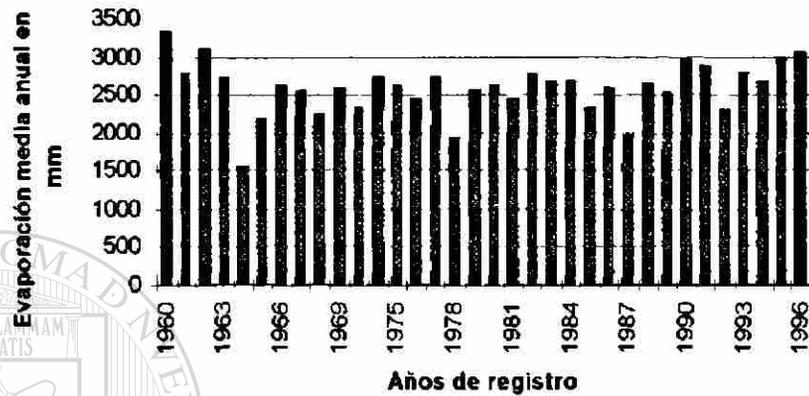


Figura N° 6. Imagen meteorológica correspondiente al mes de noviembre, se aprecia la presencia de un frente frío desarrollado en el pacífico y en el Golfo de México, nótese gran parte del país sin presencia de lluvias

## 2.4 Evaporación

Considerando la localización del área en estudio, en la región, la evaporación es alta y alcanza valores medios anuales de 2,555 mm en la estación de Icamole y 1,676 mm en la de Chupaderos del Indio, con un valor mínimo de 1,562 mm en 1964 y uno máximo de 3,300 mm, en 1960, registrados en la estación de Icamole (gráfica N° 3)



Gráfica N° 3. Valores de la evaporación media anual en la cuenca de Paredón-Icamole

En general, la evaporación se concentra durante los meses de abril a agosto; los valores típicos medios mensuales son de 50 mm, en enero y 397 mm, en agosto.

Por medio de la aplicación de los polígonos de Thiessen se determinaron las áreas de influencia para cada estación, dentro del área de estudio (tabla N° 2).

ESTACIÓN	ÁREA DE INFLUENCIA km <sup>2</sup>	%
Icamole	38.5	22.5
Chupaderos del Indio	132.8	77.5
Área total de la cuenca	171.3	100

Tabla N° 2. Área de influencia de las estaciones en la cuenca de Paredón-Icamole

## 3. HIDROLOGÍA SUPERFICIAL

### 3.1 Localización del Área

Regionalmente, el área en estudio se localiza dentro de la Región Hidrológica N° 24 (División de las Regiones Hidrológicas de la República Mexicana, CNA) que tiene salida del drenaje hacia el Golfo de México (plano N° 2). Esta región es drenada por el río San Juan, el cual es un escurrimiento muy importante en el noreste del país, debido a las zonas urbanas ubicadas en la cuenca; desemboca a 58 Km, aguas abajo, de la Presa Falcón. Dada su ubicación, la cuenca del río San Juan está expuesta a las frecuentes perturbaciones ciclónicas del Golfo de México. El régimen del río es irregular y está formado por los siguientes afluentes: Salinas, Pesquería, Santa Catarina, Ramos, Pilon y Mohino; de éstos, el primero tiene gran influencia en la recarga del acuífero en estudio.

### 3.2 Red Hidrográfica

En particular, el área de estudio se definió con base en las estructuras geológicas existentes en la zona, las cuales presentan una orientación E-W y permiten la formación de un parteaguas hidrográfico constituido por varios y pequeños escurrimientos de curso intermitente, los cuales se originan en las partes altas de las sierras, labrando su cauce hasta penetrar en el aluvión e integrarse a otras corrientes superficiales de mayor magnitud; creando así la red de drenaje principal (de tipo dendrítico) de la cuenca, de tercer orden (véase plano N° 2), formada por el río Patos, que entra por el lado noroeste hacia la cuenca, en el estado de Coahuila, y después de un recorrido de 8 km dentro de la misma, el escurrimiento cambia de nombre por el de río Salinas, en el estado de Nuevo León, el cual drena hasta la salida de la cuenca, no sin antes alimentar un pequeño embalse denominado las Trancas. Este escurrimiento recibe las aportaciones del arroyo Carrizos, por su margen izquierda y el arroyo Los Ranchos, por su margen derecha, los dos localizados ya dentro del Estado de Nuevo León.

Es importante señalar que en la zona existen varias manifestaciones superficiales, como es el caso de los manantiales de la Azufrosa, San Joaquín y Las Cuatas, otros se localizan en partes altas donde termina de aflorar la lutita-arenisca; por ejemplo, los

manantiales de El Antrisco y La Virgen; una pequeña parte de los escurrimientos generados por estas emanaciones se utilizan para el consumo humano y lo restante en la irrigación de raquíticas parcelas cerca de dichos alumbramientos. Se establece con ello la urgente necesidad de un estudio de calidad del agua, que se contempla en el presente trabajo (plano N° 2).

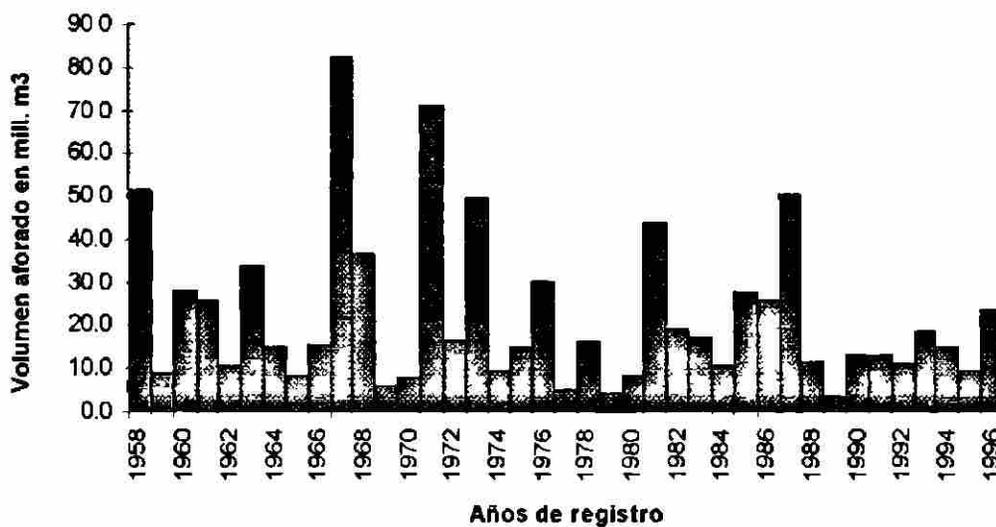
### 3.3 Hidrometría del Río Patos-Salinas

Referente a la hidrometría del río Patos-Salinas, que drena la cuenca en estudio, es importante señalar que los volúmenes de aportaciones de los diferentes escurrimientos de la zona, son muy pequeños, esto debido a que un gran número de ellos se disgregan por evaporación e infiltración, contribuyendo a que se tengan volúmenes mínimos de escurrimiento.

ESTACION HIDROMÉTRICA DE ICAMOLE			
Año	Volumen aforado mill. m <sup>3</sup>	Año	Volumen aforado mill. m <sup>3</sup>
1958	51 651	1978	16 215
1959	8 930	1979	4.641
1960	28.472	1980	8 514
1961	25.832	1981	44 228
1962	10.845	1982	18 992
1963	34 046	1983	17 049
1964	15 259	1984	10 630
1965	8 567	1985	27 842
1966	15 791	1986	25 735
1967	82.574	1987	50.800
1968	36 680	1988	11 689
1969	6 133	1989	3 424
1970	7 955	1990	13 067
1971	71.455	1991	12.917
1972	16 723	1992	11.041
1973	49 539	1993	18.734
1974	9.797	1994	15.088
1975	15.319	1995	9.697
1976	30.331	1996	24.00
1977	5.258	Sumatoria -	875 46
Volumen medio anual aforado en millones de m <sup>3</sup> = 22.447			

Tabla N° 3. Registro hidrométrico del río Patos-Salinas en la estación de Icamole

El río Patos-Salinas, es aforado a la salida de la cuenca por la estación hidrométrica de Icamole. Se cuenta con un período de registro de 39 años, desde 1958 a 1996, en el cual se puede observar un volumen medio anual de escurrimiento de 22.447 millones de m<sup>3</sup>. Los mayores escurrimientos se originan durante los meses de mayo a octubre y se registran valores mínimos y máximos medios anuales de 3.424 millones de m<sup>3</sup>, en 1989 y de 82.574 millones de m<sup>3</sup>, en 1967, respectivamente (Gráfica N° 4).



Gráfica N° 4. Hidrometra del río Patos-Salinas

### 3.4 Balance Hidrológico

Regionalmente, la cuenca estudiada para el análisis del escurrimiento superficial, se localiza en la Región Hidrológica N° 24 (Regiones hidrológicas de la República Mexicana, CNA) cuenta con un área total de 10,312.4 Km<sup>2</sup>. Debido a la ubicación del acuífero en estudio y a la ramificación de los diferentes escurrimientos que contribuyen a la recarga del mismo, se dividió la cuenca inicial en cuatro subcuencas (figura N° 7).

Subcuenca 1, denominada Cuenca de Paredón-Icamole, cuenta con una área de 1713 Km<sup>2</sup>, es en esta cuenca donde se localiza el acuífero en estudio, la principal corriente que drena el área es el río Patos, el cual cambia de nombre por el de río Salinas a la mitad de la cuenca, presenta una longitud aproximada de 26.3 Km, desde la entrada a la cuenca, en la parte norte del poblado de Paredón, hasta la estación hidrométrica de Icamole; esta cuenca recibe las aportaciones de los escurrimientos generados por las tres cuencas adyacentes.

Subcuenca 2, o Cuenca Chupaderos del Indio. Esta cubre un área de 133.4 Km<sup>2</sup>, su corriente principal es el arroyo Los Ranchos, con una longitud aproximada de 17.5

Km; al Sureste de la cuenca se localiza la estación climatológica de Chupadero del Indio, la cual cubre los registros de precipitación de dicha región.

Subcuenca 3, o Cuenca Carrizos. Abarca un área de 82.6 Km<sup>2</sup>, tiene como corriente principal el arroyo los Carrizos, de una longitud aproximada de 13.50 Km. Esta cuenca forma parte del área de influencia de la estación climatológica de Icamole.

Subcuenca 4, denominada Cuenca Saltillo-Paredón. Aunque esta cuenca por sus dimensiones y su morfología que define una serie de cuencas endorréicas pequeñas, que pudieran considerarse independientes entre sí en el aspecto de la hidrología superficial, no así ocurre en el análisis de la hidrología subterránea, ya que es de esperarse que dichas cuencas endorréicas se comuniquen entre sí por medio de los flujos subterráneos, originados por las filtraciones de los escurrimientos superficiales; por lo tanto, queda justificado el porqué se analizó toda esta cuenca para el balance hidrológico. Esta cuenca comprende un área de 9,925.1 Km<sup>2</sup>, su corriente principal, el río Patos, alcanza una longitud de 143.0 Km y desemboca en la parte norponiente de la Cuenca de Paredón-Icamole.

Es importante mencionar que en toda esta longitud -río Patos- no se cuenta con ninguna estación de aforo, considerando que en 1949 se instalaron dos estaciones hidrométricas en el suroeste de Saltillo: Vaquería y San Juan. La primera se instaló en el arroyo Vaquería y en un periodo corto registró un gasto máximo de 5.35 m<sup>3</sup>/s y un mínimo de 0.014 m<sup>3</sup>/s. La estación San Juan se instaló en el arroyo del mismo nombre y registró gastos máximo y mínimo de 1.81 y 0.010 m<sup>3</sup>/s. Ambas estaciones se suspendieron en 1953 y por el corto tiempo de funcionamiento, no fue posible calcular el volumen medio anual del río en los dos afluentes (CNA, 1996), contribuyendo así al análisis hidrológico global de toda la cuenca. Los registros de precipitación que se originan en toda el área de esta cuenca son cubiertos por 17 estaciones climatológicas; de las cuales, la estación que presenta un registro mayor es la de Saltillo, Coahuila.

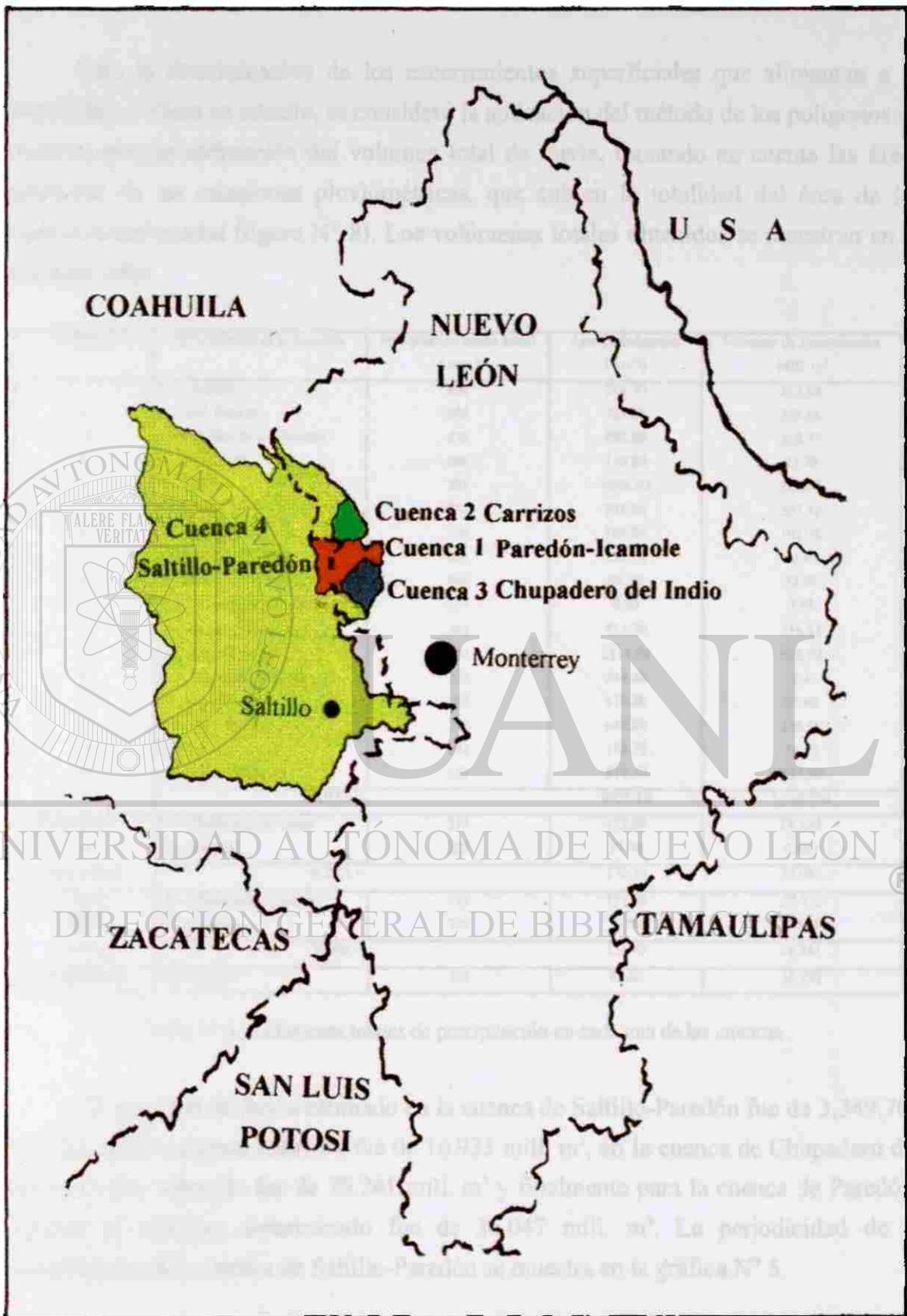


Figura N° 7. División de cuencas consideradas para el análisis del balance hidrológico

### 3.4.1 Precipitación

Para la determinación de los escurrimientos superficiales que alimentan a la cuenca del acuífero en estudio, se consideró la aplicación del método de los polígonos de Thiessen para la estimación del volumen total de lluvia, tomando en cuenta las áreas tributarias de las estaciones pluviométricas, que cubren la totalidad del área de las cuencas mencionadas (figura N° 8). Los volúmenes totales obtenidos se muestran en la siguiente tabla.

CUENCA	N y Nombre de la Estacion	Precipitación media anual ( mm )	Area de influencia ( km <sup>2</sup> )	Volumen de Precipitación Mill m <sup>3</sup>
S A L T I L L O	1. - Cameros	400	284.70	113.88
	2. - Gral. Cepeda	359	723.20	259.63
	3. - San Juan de la Vaquera	459	695.80	319.37
	4. - Huachichil	666	110.80	73.79
	5. - La Rosa	381	1895.90	722.34
	6. - Saltillo	351	591.20	207.51
	7. - Arteaga	336	305.90	102.78
	8. - Tunal	404	237.50	95.95
	9. - Jame	466	68.70	32.01
	10. - Ciénega de la Punsima	837	8.90	7.45
	11. - Ramos Anzpe	303	713.70	216.25
	12. - Alto de Nonas	284	2214.50	628.92
	13. - Chupadero del Indio	210	344.80	72.41
	14. - Icamole	203	110.80	22.49
	15. - Ejido Reata	232	640.90	148.69
	16. - La Popa	244	158.70	38.72
	17. - Santa Teresa	351	819.10	287.50
SUMA			9925.10	3.349.704
P A R E D Ó N	13. - Chupadero del Indio	212	132.80	28.154
	14. - Icamole	205	38.50	7.893
ICAMOLE		SUMA	171.30	36.047
C H U P. D E L I N D I O	13. - Chupadero del Indio	212	127.70	27.072
	14. - Icamole	205	5.70	1.169
INDIO		SUMA	133.40	28.241
CARRIZOS	14. - Icamole	205	82.60	16.933

Tabla N° 4. Volúmenes totales de precipitación en cada una de las cuencas

El volumen de lluvia estimado en la cuenca de Saltillo-Paredón fue de 3,349.704 mill. m<sup>3</sup>, para la cuenca Carrizos fue de 16.933 mill. m<sup>3</sup>, en la cuenca de Chupadero del Indio el valor obtenido fue de 28.241 mill. m<sup>3</sup> y finalmente para la cuenca de Paredón-Icamole el volumen determinado fue de 36.047 mill. m<sup>3</sup>. La periodicidad de la precipitación en la cuenca de Saltillo-Paredón se muestra en la gráfica N° 5.

**ESTACIONES CLIMATOLÓGICAS Y PLUVIOMÉTRICAS**

N° y Nombre de la Estación	Localización (coordenadas geográficas)		Área de influencia (km²)	Localización Municipio y Estado
	Latitud	Longitud		
Cuenca 4, Saltillo-Paredón				
1.- Cameros	25° 07' 20"	101° 06' 36"	284 70	Saltillo, Coahuila
2.- Gral Cepeda	25° 22' 41"	101° 28' 30"	723 20	Gral. Cepeda, Coahuila
3.- San Juan de la Vaquería	25° 15' 08"	101° 15' 58"	695 80	Saltillo, Coahuila
4.- Huachichil	25° 12' 37"	100° 49' 27"	110 80	Arteaga, Coahuila
5.- La Rosa	25° 31' 05"	101° 23' 17"	1895 90	Gral Cepeda, Coahuila
6.- Saltillo	25° 26' 07"	100° 54' 43"	591 20	Saltillo, Coahuila
7.- Arteaga	25° 26' 41"	100° 50' 11"	305 90	Arteaga, Coahuila
8.- Tunal	25° 25' 13"	100° 38' 03"	237 50	Arteaga, Coahuila
9.- Jame	25° 21' 59"	100° 37' 11"	68 70	Arteaga, Coahuila
10.- Ciénega de la Purísima	25° 20' 15"	100° 31' 49"	8 90	Arteaga, Coahuila
11.- Ramos Arizpe	25° 32' 26"	100° 57' 02"	713 70	Ramos Arizpe, Coahuila
12.- Alto de Norias	25° 58' 37"	101° 14' 44"	2214 50	Ramos Arizpe, Coahuila
13.- Chupadero del Indio	25° 46' 50"	100° 47' 15"	344 80	García, Nuevo León
14.- Icamole	25° 55' 31"	100° 41' 15"	110 80	García, Nuevo León
15.- Ejido Reata	26° 07' 42"	101° 04' 33"	640 90	Ramos Arizpe, Coahuila
16.- La Popa	26° 09' 10"	100° 49' 40"	158 70	Mina, Nuevo León
17.- Santa Teresa	26° 23' 45"	101° 21' 13"	819 10	Castanos, Coahuila
Cuenca 1, Paredón-Icamole				
Est. Chupadero del Indio	25° 46' 50"	100° 47' 15"	132 80	García, Nuevo León
Est. Icamole	25° 55' 31"	100° 41' 15"	38 50	García, Nuevo León
Cuenca 2, Chup. del Indio				
Est. Chupadero del Indio	25° 46' 50"	100° 47' 15"	127 70	García, Nuevo León
Est. Icamole	25° 55' 31"	100° 41' 15"	5 70	García, Nuevo León
Cuenca 3, Carrizos				
Est. Icamole	25° 55' 31"	100° 41' 15"	82 60	García, Nuevo León

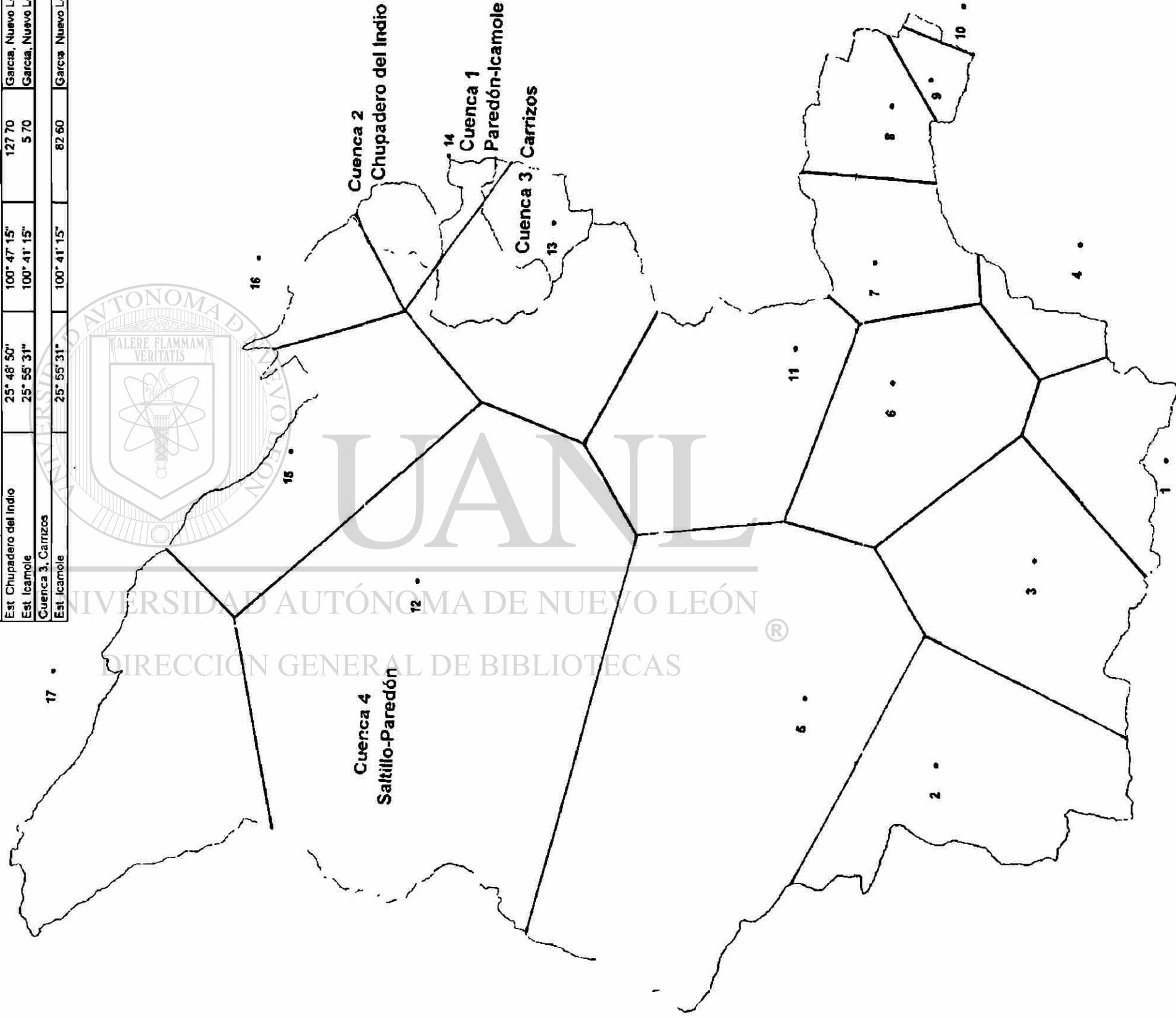
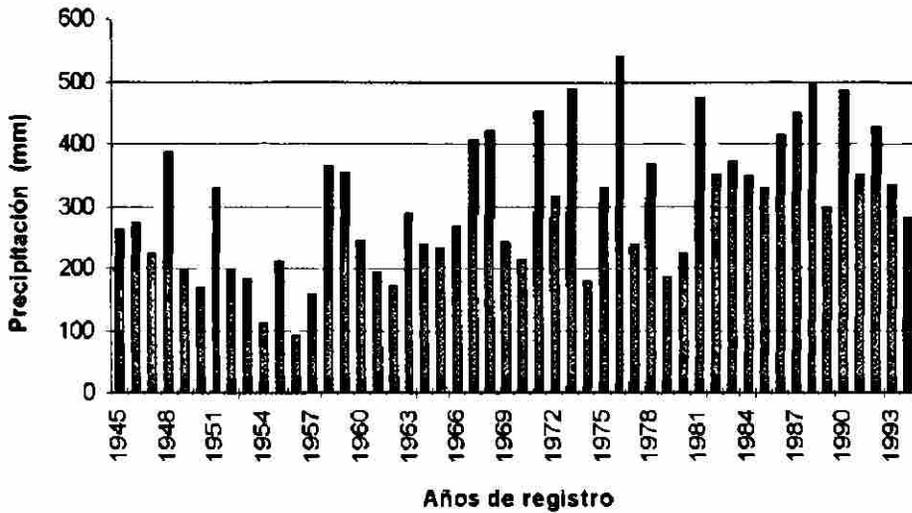


Figura 8. Área de influencia de las estaciones pluviométricas en las cuencas analizadas para el balance hidrológico, mediante el uso de los polígonos de Thiessen

**PRECIPITACION MEDIA ANUAL EN LA CUENCA  
SALTILLO-PAREDÓN**



Gráfica N° 5. Registro del período de precipitación en la cuenca de Saltillo-Paredón

Mediante la configuración de isoyetas medias anuales en la región analizada para el balance hidrológico, se pueden apreciar tres zonas claras de precipitación, una de éstas se define por los valores altos de precipitación (hasta 1000 mm anuales) los cuales se ubican paralelos a la Sierra Madre Oriental en el estado de Nuevo León. Se aprecia también una zona de precipitación con valores intermedios, de 250 a 500 mm anuales, la cual comprende los municipios de General Cepeda, Saltillo, Ramos Arizpe, Arteaga y Mina. La zona que presenta valores mínimos de precipitación abarca en su totalidad la cuenca de Paredón-Icamole, en la que se registran valores de 200 y 225 mm anuales; dicha zona se extiende hacia el centro del estado de Coahuila influyendo de manera directa en los valores mínimos de escurrimiento del río Patos. En la figura N° 9 se muestra la configuración de isoyetas medias anuales, que cubren la región comprendida por las cuatro cuencas.

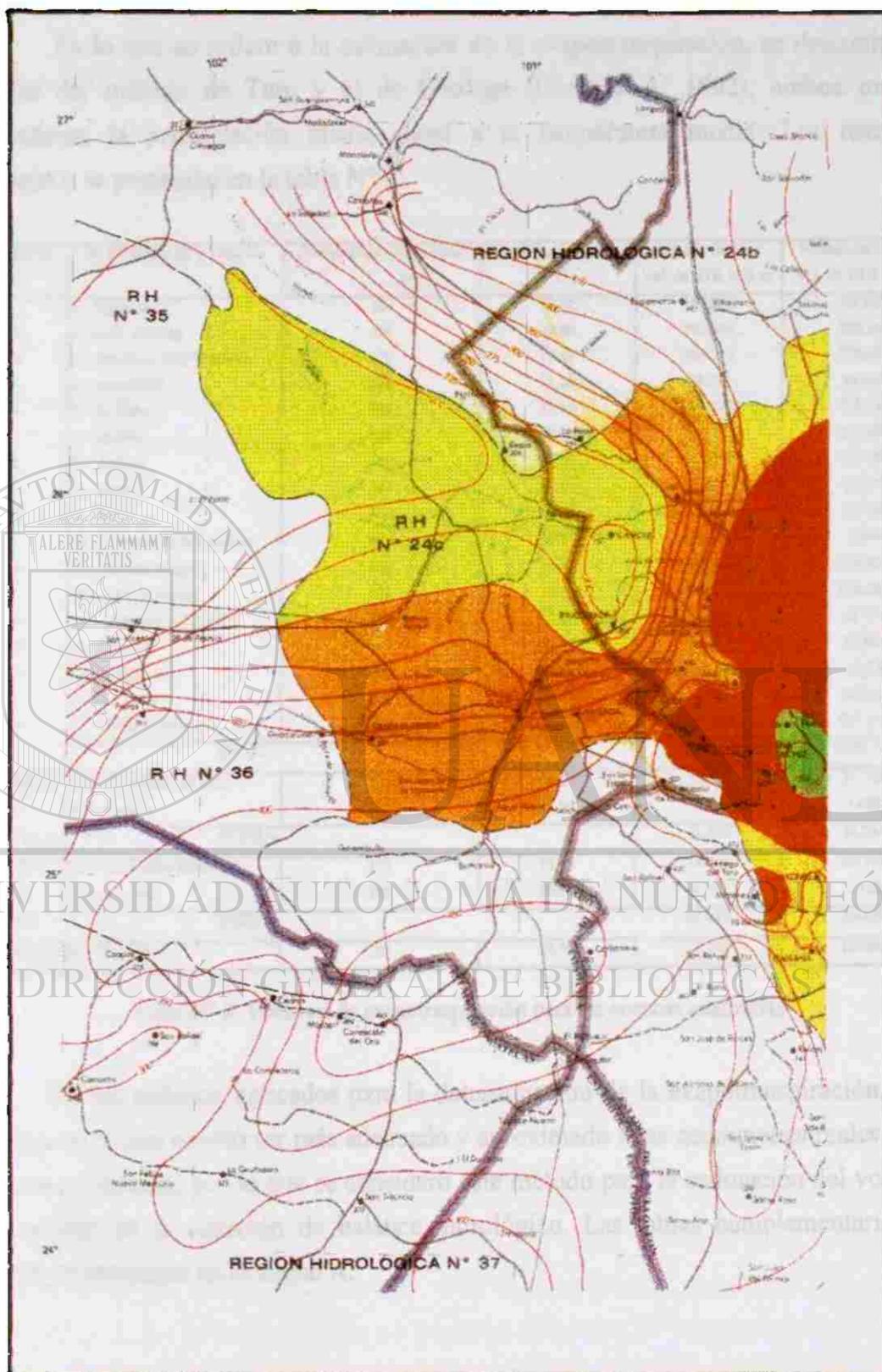


Figura N 9. Configuración de isoyetas medias anuales en la región donde se localizan las cuencas analizadas para el balance hidrológico.

### 3.4.2 Evapotranspiración

En lo que se refiere a la estimación de la evapotranspiración, se determinó por medio del método de Turc y el de Coutage (Campos A. 1992), ambos métodos consideran la precipitación media anual y la temperatura media. Los resultados obtenidos se presentan en la tabla N° 5.

CUENCA	N y Nombre de la Estación	Precipitación media anual ( mm )	Temperatura media ( °C )	Método de Turc Vol. de ETR Mill m <sup>3</sup>	Metodo de Coutage Vol. de ETR Mill m <sup>3</sup>
	1 - Cameros	400	15.40	107.966	98.470
S	2. - Gral Cepeda	359	18.80	233.666	259.369
A	3 - San Juan de la Vaquería	459	17.10	301.713	273.476
L	4. - Huachuclitl	666	14.50	58.913	56.427
T	5. - La Rosa	381	17.50	707.093	721.616
I	6. - Saltillo	351	18.10	206.281	207.304
L	7. - Arteaga	336	17.10	101.862	102.680
L	8. - Tunal	404	15.10	90.419	82.647
O	9. - Jame	466	12.10	27.506	26.032
	10. - Ciénega de la Purísima	837	15.50	5.525	5.350
P	11 - Ramos Arizpe	303	22.40	194.626	216.035
A	12. - Alto de Norias	284	18.80	566.026	628.289
R	13. - Chupadero del Indio	210	19.80	65.167	72.336
E	14. - Icamole	203	20.90	20.243	22.470
D	15 - Ejido Reata	232	20.30	133.820	148.540
Ó	16. - La Popa	244	20.90	34.851	38.684
N	17 - Santa Teresa	351	20.20	258.754	287.217
	SUMA =			3.114.449	3.246.942
PAREDÓN	13 - Chupadero del Indio	212	19.80	25.338	26.746
E	14. - Icamole	205	20.90	7.103	7.498
ICAMOLE	SUMA			32.441	34.244
CHUP.	13. - Chupadero del Indio	212	19.80	24.365	25.719
DEL	14. - Icamole	205	20.90	1.052	1.110
INDIO	SUMA			25.417	26.829
CARRIZOS	14 - Icamole	205	20.90	15.240	16.086

Tabla N° 5. Volumen de evapotranspiración para las cuencas analizadas

De los métodos aplicados para la determinación de la evapotranspiración, el de Coutage es el que resultó ser más adecuado y aproximado a las condiciones reales de las cuencas en estudio; por lo que se consideró este método para la estimación del volumen de pérdidas en la ecuación de balance hidrológico. Las tablas complementarias del cálculo se presentan en el anexo A.

### 3.4.3 Infiltración y Esgurrimiento

Para estimar la infiltración en cada una de las cuencas que contribuyen al escurrimiento superficial de la cuenca donde se localiza el acuífero en estudio, se empleó el modelo matemático, propuesto por la U. S. Army Corps of Engineers Hidrologic, denominado (Hec-1) Flood Hydrograph Package. Básicamente, se utilizó este modelo, ya que considera el mayor número de variables hidrológicas y se ajusta a la información pluviométrica con que se cuenta en la región.

Los parámetros utilizados para la aplicación de este modelo, fueron determinados en cada una de las cuencas, considerando la unidad hidrográfica de Clarck. En la tabla N° 6, se muestran los valores calculados.

N° y Nombre de la Cuenca	Area km <sup>2</sup>	Lcp km	Lca Km	S %	C1	N	DU %	QS
1 - Paredón e Icamole	171.3	26.30	13.15	0.383	3.79	79.46	0.0	100
2 - Chupaderos del Indio	133.4	17.20	8.75	2.349	5.12	86.75	0.0	100
3 - Carrizos	82.6	13.50	6.75	1.617	5.12	85.40	0.0	100
4 - Saltillo-Paredón	9925.1	143.00	71.50	0.719	3.79	79.63	0.2	100

Tabla N° 6. Parámetros de la unidad hidrográfica de Clarck, para cada cuenca

Donde:

Lcp=Longitud del cauce principal

Lca=Longitud del cauce principal al centroide de la cuenca

S=Pendiente del cauce principal

C1=Coefficiente de clark

N=Coefficiente de escurrimiento en función del tipo y uso del suelo

DU=Desarrollo urbano en la cuenca

QS=Porcentaje de caudal aportado por la cuenca

Una vez determinados los tres primeros parámetros (Lcp, Lca y el área de la cuenca) se procedió a calcular la pendiente del cauce principal (So) mediante la aplicación de los siguientes métodos: criterio simplificado, pendiente de la recta equivalente y mediante la formula de Taylor y Schwarz. El valor seleccionado fue el que presentó un valor medio de los obtenidos (método de Taylor y Schwarz).

Para la obtención del coeficiente de Clarck, se consideró el porcentaje de desarrollo urbano existente en la cuenca, así como también la pendiente del cauce

principal. En la siguiente tabla se muestra el nivel de los valores que puede tomar el coeficiente.

So (ft/milla)	Área urbanizada (% desarrollo = DU)	Coef. Clarck C1
> 40	0	5.12
20 < S < 40	0	3.79
< 20	0	2.46
> 40	100	1.95
< 20	100	0.94
C = 7.25, si el % de desarrollo es < 18		

Tabla N° 7. Valores del Coeficiente de Clarck

Para el caso particular del presente estudio, el valor de DU en las cuatro cuencas resultó ser menor al 18 %, por lo que el coeficiente "C" fue de 7.25 y a partir de estos valores, se obtuvo el tiempo de concentración (Tc) y el tiempo base del hidrograma de Clarck (R) en hrs. En la tabla N° 8, se enlistan los valores obtenidos.

N° Cuenca	C	Tc	R
1	7.25	7.145	10.893
2	7.25	2.395	4.735
3	7.25	2.217	4.556
4	7.25	30.778	16.941

Tabla N° 8. Valores del tiempo de concentración y de base del hidrograma de Clarck

El coeficiente de escurrimiento (N) se determinó mediante la zonificación del tipo de suelo y de vegetación existente en cada cuenca (planos Nos. 3 y 4) considerando la clasificación de los cuatro grupos hidrológicos de suelos que establece el Soil Conservation Service (Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos de América), la descripción de cada grupo así como las tablas para la obtención del coeficiente de escurrimiento para los complejos hidrológicos suelo-cobertura, en zonas agrícolas y cuencas rurales se presentan en el anexo A.

Los valores obtenidos de N, correspondientes a las cuencas analizadas se presentan en las tablas Nos. 9 y 10.

Una vez conocidos los parámetros de la unidad hidrográfica de Clarck, se procedió a determinar el comportamiento de la precipitación en la región, mediante el cálculo de las curvas intensidad-duración-periodo de retorno (I-D-Tr) de las estaciones

pluviométricas que se localizan en cada una de las cuencas analizadas, tomando en cuenta el valor estimado del tiempo de concentración de Clarck. Las tablas con los valores que conforman las curvas mencionadas se presentan en el anexo A.

Básicamente, los resultados obtenidos al aplicar el modelo hidrológico HEC-1, fueron: la altura de lluvia en exceso (escurrimiento) y la correspondiente a la altura efectiva de la tormenta simulada, en un año cualquiera; esta última considera la lámina de escurrimiento producida por la precipitación, menos la originada por la evapotranspiración, la cual tiende a tener un valor muy pequeño (se desprecia) y generalmente no se presenta cuando se origina el escurrimiento, ya que inicialmente, se debe satisfacer la demanda de agua hacia la atmósfera, la requerida por las plantas y la que absorbe el subsuelo, para que una vez cubiertas estas demandas se origine el escurrimiento. En la tabla N° 11 se presenta un resumen de los valores obtenidos al aplicar el modelo y en el anexo A se enlista el desarrollo global del mismo.

No. y Nombre de Cuenca	Altura efectiva de tormenta simulada en mm	Altura de escurrimiento mm	Escurrimiento %
1. - Paredón e Icamole	60.69	19.98	32.92
2. - Chupadero del Indio	60.69	30.54	50.32
3. - Carrizos	39.51	12.92	32.70
4. - Saltillo-Paredón	78.84	22.09	28.02

Tabla N° 11. Valores de escurrimiento de una tormenta simulada mediante el modelo hidrológico

Una vez obtenido el porcentaje de escurrimiento correspondiente a la altura efectiva de tormenta en cada cuenca, se procedió a determinar su volumen medio anual y el coeficiente con respecto a la altura total de precipitación, considerando ahora los valores de evapotranspiración registrados en las cuencas estudiadas. En la tabla N° 12 se presentan los volúmenes de escurrimiento calculados.

No. y nombre de cuenca	Clasificación geológica	Área km <sup>2</sup>	Área en %	Tipo de vegetación	Área km <sup>2</sup>	Área en %	Coeficiente de escurrimiento		
							Tabla A* (N)	Tabla B* (N)	
1.- Paredón-Icamole	Lut-Arenisca	82.70	48.30	Matorral	82.70	100	89	91	
		13.50	7.90	Chaparral	1.35	10	79	78	
	Conglomerado			Matorral	12.15	90	86	86	
							prom. 85.30	prom. 85.20	
	Aluvión		75.1	43.8	Agricultura	2.25	3	35	67
					Chaparral	72.85	97	69	68
							prom. 67.90	prom. 67.97	
2.- Chupadero del Indio	sumas -	171.30	100				N prom. 79.46	N prom. 80.40	
		95.60	71.70	Matorral	95.60	100	89	91	
	Lut-Arenisca	18.10	13.60	Agricultura	0.54	3	75	81	
				Matorral	17.56	97	86	86	
	Conglomerado						prom. 85.67	prom. 85.90	
							35	67	
Aluvión		19.70	14.70	Agricultura	0.99	5	79	75	
				Chaparral	18.72	95	79	75	
							prom. 76.80	prom. 74.60	
3.- Carrizos	sumas -	133.40	100				N prom. 86.75	N prom. 87.90	
		54.50	65.90	Matorral	54.50	100	89	91	
	Lut-Arenisca	1.40	1.70	Matorral	1.40	100	86	86	
		26.70	32.4	Matorral	26.70	100	79	75	
	Conglomerado						N prom. 85.40	N prom. 85.70	

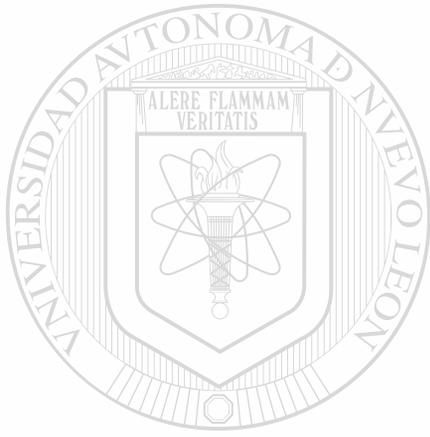
\* Las tablas A y B se presentan en el anexo A

Tabla N° 9. Determinación del coeficiente de escurrimiento (N) en función del tipo de suelo que predomina en la cuenca

CUENCA (4) SALTILLO-PAREDÓN							
Clasificación geológica	Área km <sup>2</sup>	Área en %	Tipo de vegetación	Área km <sup>2</sup>	Área en %	Coeficiente de escurrimiento	
						Tabla A* (N)	Tabla B* (N)
Riolita	11.1	0.11	Matorral	11.1	100	89	91
Pavimento	23.8	0.22	-	23.8	100	100	96
Travertino	102.40	1.17	Bosque	102.40	100	55	60
Lut-Arenisca	3170.40	31.9	Matorral	3170.40	100	89	91
Caliza	2205.30	22.20	Bosque	1653.98	75	73	70
			Matorral	485.17	22	86	86
			Pastizal	66.16	3	79	81
			suma= 2205.30	suma= 100		prom. 76	prom. 73.90
Aluvión	3436.2	34.6	Agricultura	274.90	8	35	67
			Pastizal	103.09	3	69	79
			Chaparral	687.24	20	69	68
			Matorral	2370.98	69	79	75
			suma= 3436.20	suma= 100		prom. 73.18	prom. 73.10
Conglomerado	975.9	9.8	Bosque	146.39	15	70	70
			Agricultura	48.80	5	75	81
			Pastizal	29.28	3	79	86
			Matorral	751.44	77	86	86
			suma= 975.90	suma 100		prom. 82.80	prom. 83.40
sumas =	9925.1	100				N prom. 79.63	N prom. 79.90

\* Las tablas A y B se presentan en el anexo A

Tabla N° 10. Determinación del coeficiente de escurrimiento (N) en función del tipo de suelo que predomina en la cuenca



No. y nombre de cueca	Volumen de precipitación (Vp) Mill m <sup>3</sup>	Volumen de evapotranspiración (Vetr) Mill m <sup>3</sup>	Volumen de lamina efectiva (Vp - Vetr) Mill m <sup>3</sup>	Escorrimento de lamina efectiva %	Volumen de escurrimiento (% Esc) (Vp - Vetr) Mill m <sup>3</sup>	Coefficiente de escurrimiento (Vesc X 100 / Vp) %
1.- Paredón e Icamole	36.047	34.244	1.803	32.92	0.594	1.6
2.- Chupadero del Indio	28.241	26.829	1.412	50.32	0.711	2.5
3.- Carrizos	16.933	16.086	0.847	32.70	0.277	1.6
4.- Saltillo-Paredón	3349.704	3246.942	102.762	28.02	28.794	0.9

Tabla N° 12. Determinación del volumen de escurrimiento que aporta cada cueca al valle donde se localiza el acuífero en estudio

### 3.4.4 Ecuación de Balance Hidrológico

Para la obtención del volumen de infiltración que se genera hacia el acuífero en estudio, se determinó el volumen de escurrimientos superficiales que aportan las cuencas adyacentes a la cuenca que encierra dicho acuífero. Inicialmente se calcularon los volúmenes de infiltración en cada cuenca, mediante la ecuación de balance hidrológico.

$$V_e = V_p + V_s$$

Donde:

$V_e$ , es el volumen de entrada, compuesto por la precipitación total en el área ( $V_i$ ) y la aportación de escurrimientos superficiales que se comunican con la cuenca y que contribuyen a tener una mayor volumen de recarga ( $V_a$ )

$V_p$ , es el volumen de pérdidas originado por la evapotranspiración ( $V_{etr}$ ) y la infiltración ( $V_{inf}$ )

$V_s$ , es el volumen de excedencias o de escurrimiento

Para el caso particular del presente trabajo, no se tienen volúmenes de aportación ( $V_a$ ) en las cuencas estudiadas, debido a que se toma el análisis completo de cada una de ellas, sin entradas de escurrimientos superficiales. Al sustituir la precipitación, infiltración y la evapotranspiración la ecuación queda:

$$V_i = V_{etr} + V_{inf} + V_s$$

Despejando la infiltración, la cual se quiere conocer

$$V_{inf} = V_i - V_s - V_{etr}$$

Al sustituir los valores de los volúmenes de evapotranspiración, precipitación y de escurrimiento para cada cuenca se tiene:

No. y nombre de cueca	Volumen de precipitación ( $V_p$ ) Mill m <sup>3</sup>	Volumen de evapotranspiración ( $V_{etr}$ ) Mill m <sup>3</sup>	Volumen de escurrimiento ( $V_i$ ) Mill m <sup>3</sup>	Volumen de infiltración ( $V_{inf}$ ) Mill m <sup>3</sup>
1. - Paredón e Icamole	36.047	34.244	0.594	1.209
2. - Chupadero del Indio	28.241	26.829	0.711	0.701
3. - Carrizos	16.933	16.086	0.277	0.570
4. - Saltillo-Paredón	3349.704	3246.942	28.794	73.968

Tabla N° 13. Valores de volúmenes de infiltración y escurrimiento en cada cuenca

Con los valores anteriores, se determinó el volumen de recarga por medio de la infiltración, hacia el acuífero localizado en la cuenca de Paredón-Icamole.

Aplicando nuevamente la ecuación de balance hidrológico se tiene:

$$V_e = V_s + V_p$$

Donde :

$V_e$ , es el volumen de entradas, el cual es igual al volumen de escurrimiento que entra a la cuenca, donde se localiza el acuífero en estudio.

$V_s$ , es el volumen de salida, para el caso en cuestión será el volumen de escurrimiento aforado por la estación hidrométrica de Icamole sobre el río Salinas, a la salida de la cuenca.

$V_p$ , es el volumen de pérdidas, el cual equivale al volumen de infiltración ( $V_{inf}$ ), debido a que el generado por la evapotranspiración ya está considerado en el análisis del escurrimiento superficial anterior.

El volumen de escurrimiento que aporta cada cuenca en millones de  $m^3$  es:

CUENCA	APORTE
Chupadero del Indio	0.711
Carrizos	0.277
Saltillo-Paredón	28.794
Paredón e Icamole (aporte propio)	<u>0.594</u>
	suma ( $V_e$ ) = 30.376

El volumen de escurrimiento medio anual aforado sobre el río Salinas en millones de  $m^3$  es:

$$(V_s) = 22.447$$

Despejando ( $V_{inf}$ ) y sustituyendo valores en la ecuación se tiene:

$$V_{inf} = V_e - V_s$$

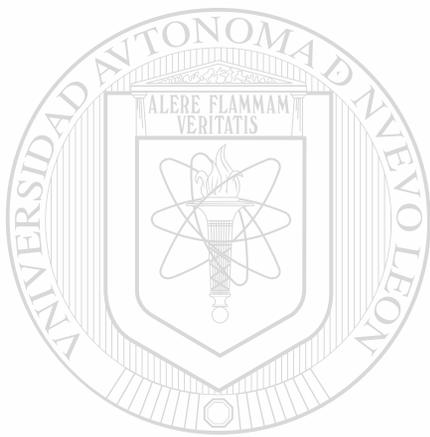
$$V_{inf} = 30.376 - 22.447$$

$$V_{inf} = 7.929$$

A este valor se le sumará el volumen de infiltración de 1.209 mill m<sup>3</sup> el cual es generado por la propia cuenca, entonces se tiene:

$$V \text{ total de inf} = 7.929 + 1.209 = 9.138$$

Por lo tanto, el volumen medio anual aproximado de recarga del acuífero por medio de infiltración será de 9.138 millones de m<sup>3</sup> (figura N° 10).



# UANL

---

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

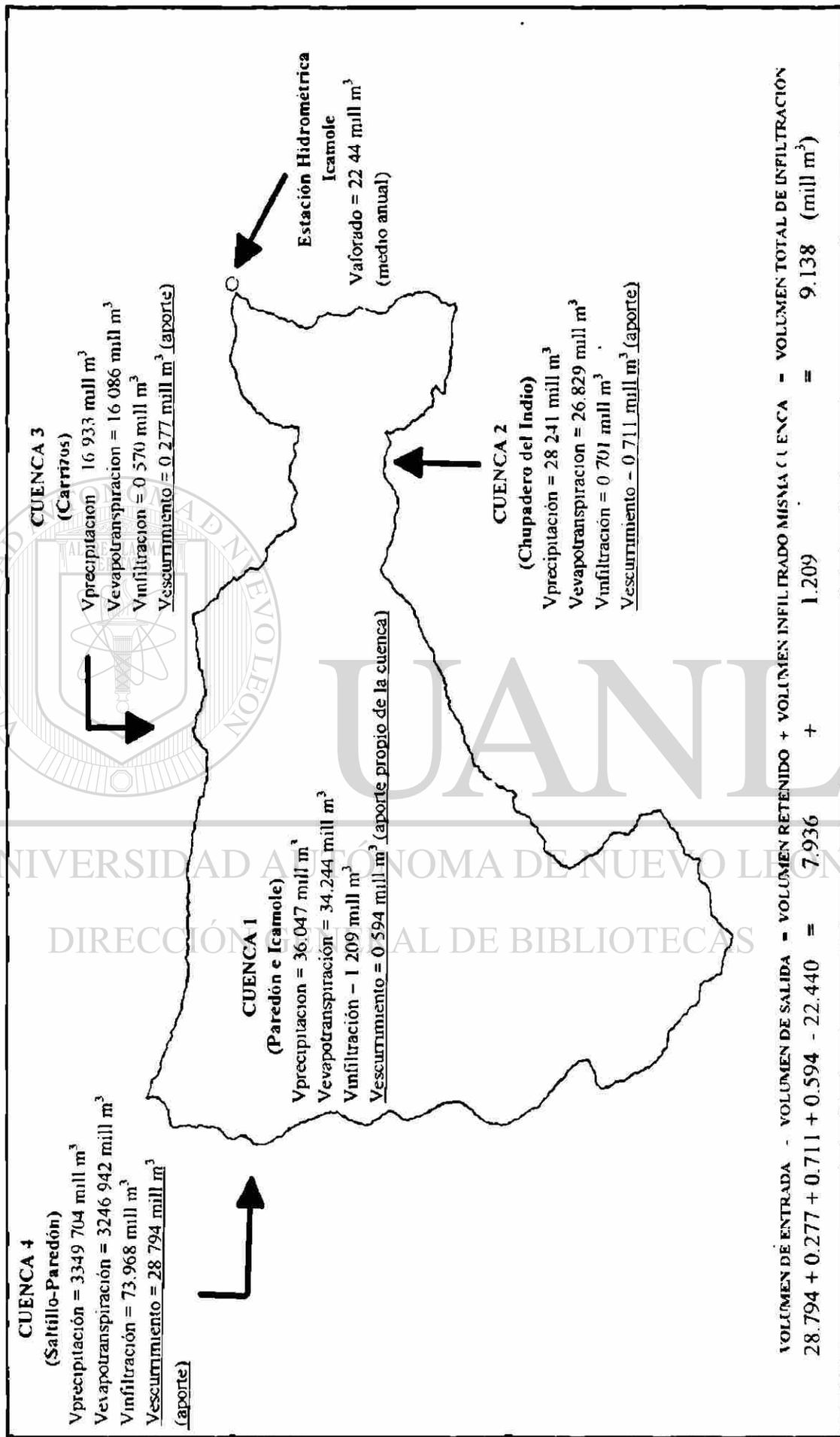


Figura 10. Balance hidrológico en la cuenca de Paredón e Icamole

## 4. GEOLOGÍA

### 4.1 Fisiografía

La zona en estudio se localiza dentro de la Provincia Geológica de la Sierra Madre Oriental, formando parte de la subprovincia fisiográfica Cuenca de Parras, la cual se caracteriza por la presencia de sierras y valles con una orientación Este-Oeste. La sierra más importante de esta subprovincia es la de Parras, la cual alcanza una altura de 3000 msnm y se extiende a lo largo de los municipios de Parras de la Fuente, Saltillo y parte de Ramos Arízpe en el estado de Coahuila (INSISA, 1972).

En particular, la Cuenca de Paredón e Icamole presenta una morfología bien definida. Limita al norte con la Sierra el Maneadero, con una altura de 1000 msnm y la Sierra el Colorado, con una altura de 1200 msnm respectivamente; en el lado oriente limita con el Cerro de la Cruz, el cual alcanza una altura de 1200 msnm, en el sur y el poniente limita con la Sierra la Azufrosa, la cual se extiende en forma de arco, definiendo en su mayoría el parte aguas de la cuenca y alcanzando una altura de 1500 msnm (figura N° 11).

El valle que forma la cuenca en estudio, presenta un relieve constituido por lomeríos y suelos con pendiente suave; estos últimos de origen aluvial, producto de la erosión de las lutitas-areniscas que conforman las sierras que limitan la cuenca. Dichos suelos, están formados por depósitos no consolidados de gravas, arenas, limos y arcillas, las cuales presentan diversos espesores según su localización y distribución dentro del valle.

La disponibilidad de agua superficial, en el área de interés, es muy reducida y se limita al escurrimiento del río Patos, el cual recibe las aportaciones de los arroyos: el Coyote, la Mula y el río San Lorenzo; dichos escurrimientos son captados antes de iniciar el drenado de la cuenca, en el lado oeste de la misma (municipio de Ramos Arízpe, Coahuila). Después de un recorrido de 8 km, aproximadamente, dentro de la cuenca, y desde este punto hasta la salida de la misma, el escurrimiento toma el nombre de río Salinas (municipio de García, Nuevo León); teniendo como principal aportación el arroyo Carrizos, por su margen izquierda, dentro de la cuenca.



Figura N° 11. Fisiografía de la Cuenca de Paredón-Icamole

## 4.2 Geología Estructural

Respecto a la geología, el área de estudio se encuentra ubicada dentro de la provincia de la Cuenca de Parras, denominada así porque corresponde a una antigua cuenca marina, que tuvo hundimiento continuo con relleno de sedimentos durante el Cretácico Superior (Gary y Chris, 1995). Esta cuenca se desarrolló al sur de la contemporánea Península de Coahuila, que era un elemento más estable y de la cual recibió los aportes clásticos.

Hacia fines del cretácico se depositó en la antefosa, junto con lodos calcáreos, una enorme cantidad de arena, a la vez que la antefosa se hundía rápidamente, dando así origen a la acumulación de grandes espesores de sedimentos que dieron lugar a las formaciones Parras y Difunta (Gary y Chris, 1995).

Las estructuras actualmente existentes tuvieron su origen en la emersión del entonces fondo marino ocurrida a finales del Cretácico y principios del Terciario. A estos movimientos de la corteza terrestre se les ha llamado Orogenia Laramide. Los esfuerzos compresionales que originaron a la emersión actuaban de sur a norte encontrando una barrera en la Península de Coahuila, de ahí que los plegamientos se hayan desarrollado con una dirección predominantemente este-oeste, al igual que en las sierras transversales de la Sierra Madre Oriental, localizadas al sur (figura N° 12).

Posterior a la etapa de esfuerzos orogénicos compresionales, la región entró en un período de ajuste isostático, lo que motivó el fracturamiento y fallamiento normal al rumbo de las estructuras (Tardy et al., 1975).

En esta forma, el área en estudio se extiende ocupando parte de las unidades geotectónicas de la provincia de la cuenca sedimentaria de Parras, la cual se distribuye entre el frente de los pliegues de la cordillera y plataforma de Coahuila; en su estructura general se caracteriza por encontrarse atravesada de oriente a poniente por una serie de pliegues sinuosos orientados al oeste-noreste, mismos que presentan un flanco norte más inclinado y están generalmente recostados al norte (Gary y Chris, 1995).

Respecto a las estructuras que forman la Cuenca de Paredón e Icamole, se puede apreciar que se dio origen a dicha cuenca mediante el proceso de erosión e intemperismo que atacó el anticlinal que se extendía desde el valle de Paredón hasta el anticlinal El

Fraile, conformando la topografía de las sierras: La Azufrosa, El Maneadero y El Colorado; con una orientación este-oeste y compuesto por las rocas que integran el grupo Difunta. La inclinación de las capas en los flancos de dichas sierras varía de 20° a 30° y, ocasionalmente, son mayores. Las altitudes máximas alcanzadas son de 1200 y 1500 msnm, mientras que las partes bajas alcanzan los 750 msnm (plano N° 5).

### 4.3 Estratigrafía

Las rocas encontradas en el área son rocas sedimentarias correspondientes a un delta progradante de edad del Cretácico Superior (Rodríguez M., 1996) y consisten en un fuerte espesor de lutitas y areniscas dispuestas en alternancia, con lentes locales de conglomerado y relleno del valle con depósitos aluviales del Cuaternario.

Para la clasificación litológica de la cuenca, se diferenciaron dos sistemas geológicos considerando la etapa del desarrollo evolutivo de las mismas.

#### SISTEMA CRETÁCICO SUPERIOR

Está compuesto por las estructuras actuales en el área, sierras labradas en las formaciones del grupo Difunta, debido a la erosión y al intemperismo. Dicho grupo se ha diferenciado en una serie de miembros que litológicamente consiste en una secuencia de lutitas y areniscas diferenciando las formaciones por el color al intemperismo, predominancia de lutitas o areniscas (Cerro del Pueblo, Cerro Huerta, Cañón del Tule, Las Imágenes, Cerro Grande, Las Encinas, Rancho Nuevo y El Tanque) y ocasionalmente conglomerados, por lo que se pueden considerar geomorfológicamente como una sola unidad en la que los horizontes arcillosos forman puertos o depresiones debido a que son menos resistentes a la erosión, mientras que las capas de arenisca y conglomerado son horizontes de roca más resistentes que forman salientes de delgado espesor; consecuentemente, el resultado de la erosión es una alternancia de puertos y salientes que se observa desde las partes altas hasta la base de las serranías (Gary y Chris, 1995). Esta alternancia se hace más notable en donde la inclinación de las capas es más pronunciada.

Los espesores registrados para estos miembros varían de los 200 a los 1200 m, dependiendo de la localización en la región (Gary y Chris, 1995). En la tabla N° 14 se

presenta una correlación de la estratigrafía de la zona en estudio, con la que existe regionalmente.

EUROPA		AREA PAREDON	SIERRA DE SAN MARCOS	POTRERO DE LA VIRGEN	SIERRA DE LA MADRA	SIERRA DE SACRAMENTO	SIERRA DE LA PURISIMA	POTRERO DE OBALLOR	SIERRA DE LOS MUERTOS
CRETACICO SUP.	MAESTRICHTIANO	GPO.						F. LICOMBO F. BLNOS	F. DIFUNTA
	CAMPARIANO	DIFUNTA						F. SAN MIGUEL F. UPSON	2000m
	SANTONIANO	LTAS.	LTAS. PARRAS					GPO. AUSTIN	LTAS. PARRAS
	CONIACIANO	PARRAS							1370m
	TURONIANO	GPO. EAGLE FORD	GPO. EAGLE FORD				GPO. EAGLE FORD	GPO. EAGLE FORD	FORM. INDIDURA
CRETACICO INF.	CECUMBIANO	GPO.	GPO.	GPO.	GPO.	GPO.	GPO.	GPO.	FORM. CUESTA DEL CURA
	SUPERIOR	WASHITA	WASHITA 300 m	WASHITA 278 m	WASHITA	WASHITA	WASHITA	WASHITA 240 m	140 m
	MEDIO	FORM. AURORA	FORM. AURORA	FORM. AURORA	FORM. AURORA	FORM. AURORA	FORM. AURORA	FORM. AURORA	FORM. AURORA
	INFERIOR	FORM. AURORA	FORM. AURORA	FORM. AURORA	FORM. AURORA	FORM. AURORA	FORM. AURORA	FORM. AURORA	FORM. AURORA
	SARASIANO	FORM. LA PEÑA	FORM. LA PEÑA 200 m	FORM. LA PEÑA 89 m	FORM. LA PEÑA	FORM. LA PEÑA	FORM. LA PEÑA	FORM. LA PEÑA 40 m	FORM. LA PEÑA 34 m
	DEOULIANO	FORM. CUPIDO	FORM. CUPIDO 40-90 m	FORM. CUPIDO 109 m	FORM. CUPIDO	FORM. CUPIDO	FORM. CUPIDO	FORM. CUPIDO 300 m	FORM. CUPIDO
	BARREMIANO			F. LA VIRGEN 535 m		FLAVIRIES F. LA MULA 313 m	F. LA MULA	F. LA MULA 360 m	
	MASTREMIANO		ARK.			CLZ. PADILLA	CLZ. PADILLA	CLZ. PADILLA 170 m	684 m
	MALANMIANO		SAN MARCOS			CLZ. MENCHACA	CLZ. MENCHACA	CLZ. MENCHACA 117 m	FORM. TARAISES
	BERMANSIANO		600 m			GPO. LA CASITA 170 m	GPO. LA CASITA	GPO. LA CASITA 600 m	259 m
JURASICO SUP.	PORTLANDIANO	GPO.	GPO. LA CASITA	GPO. LA CASITA				GPO. LA CASITA	GPO. LA CASITA 670 m
	BIMBERIDIANO		235 m					GPO. ZULOAGA	CLZ. ZULOAGA
	ARBOVIANO	GPO.	ZULOAGA					ZULOAGA	91 m
	OXFORDIANO		400 m					ZULOAGA 170 m	FORM. MINAS VIEJAS
	CALLOVIANO								

Tabla N° 14. Correlación estratigráfica del área de estudio con la existente a escala regional (tabla tomada del estudio de CASSA, 1981)

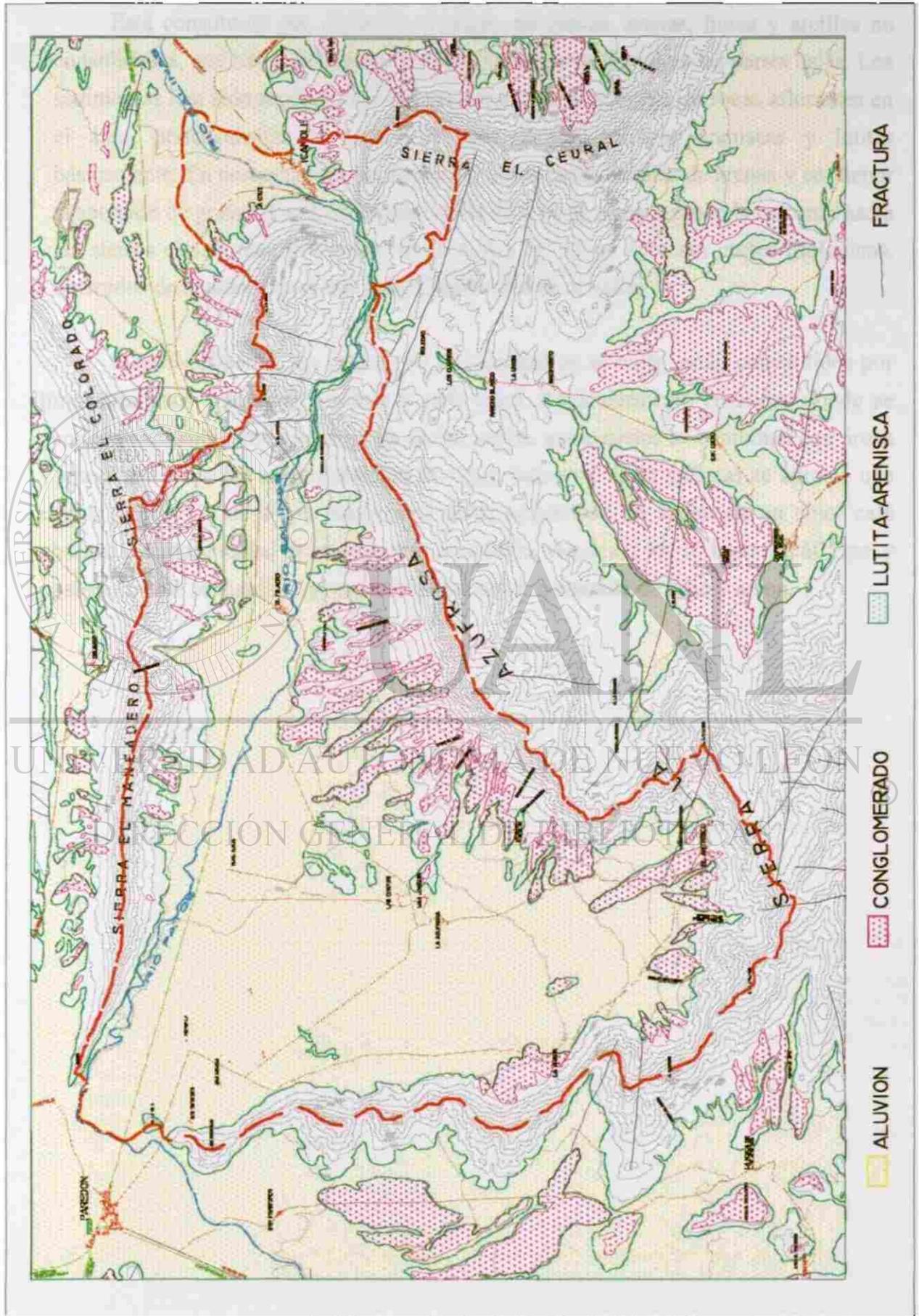
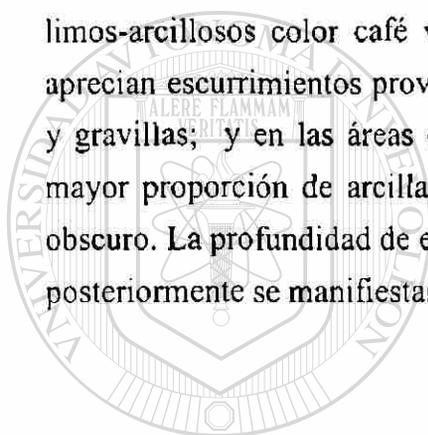


Figura No. 12. Geología regional del área de estudio

## SISTEMA CUATERNARIO

Está constituido por depósitos clásticos de gravas, arenas, limos y arcillas no consolidadas, que han sido depositados por el transporte fluvial en las partes bajas. Los sedimentos han sido producto del intemperismo y la erosión de las rocas aflorantes en el área, pertenecientes al grupo Difunta, constituidas por areniscas y lutitas básicamente. En consecuencia, se tienen espesores considerables de arenas y en menor proporción de gravas. Estos espesores van de 20 a 60 m, considerando la cercanía hacia las sierras que forman la cuenca (en la figura N° 13 se aprecian cortes litológicos, obtenidos de algunos pozos que están distribuidos en el valle).

Superficialmente, los suelos que se localizan en el valle, están constituidos por limos-arcillosos color café verdoso y café claro. Particularmente en zonas donde se aprecian escurrimientos provenientes de las sierras, estos suelos se combinan con arena y gravillas; y en las áreas existentes de riego (noroeste de la cuenca) se aprecia una mayor proporción de arcilla respecto al limo, tomándose los suelos de un color café oscuro. La profundidad de estos suelos es variable, van desde los 10 hasta los 60 cms, y posteriormente se manifiestan espesores con mayor contenido de limo y arena.



UANL

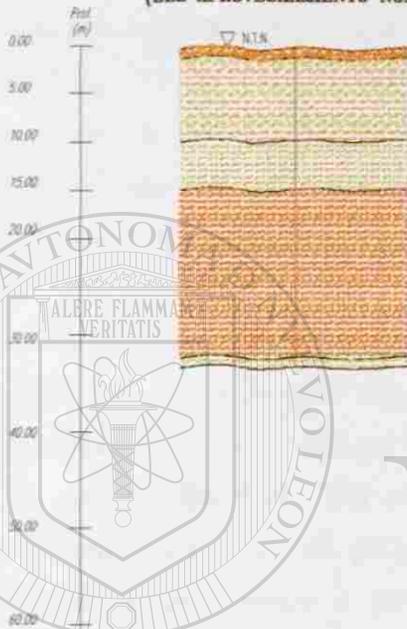
---

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

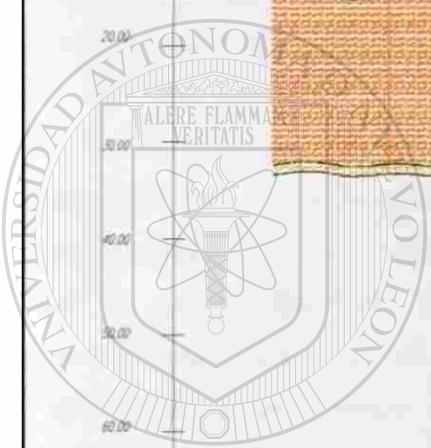


DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

POZO DE OBSERVACIÓN  
(DEL APROVECHAMIENTO No. 2)



APROVECHAMIENTO No. 2



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

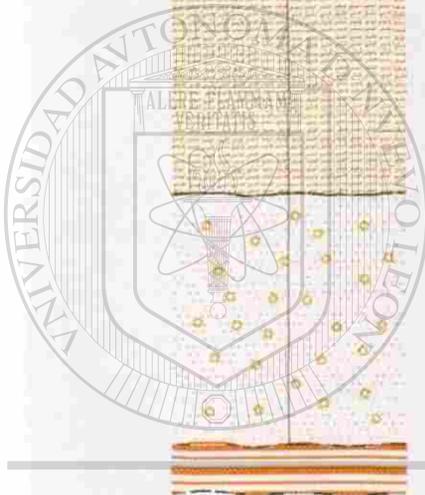


# ORTES LITOLÓGICOS

APROVECHAMIENTO No. 1



POZO DE OBSERVACIÓN  
(POZO RANCHO TRINIDAD)



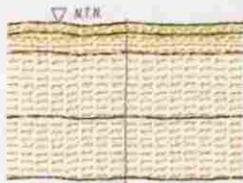
# UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

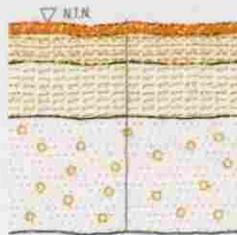
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



APROVECHAMIENTO No. 29

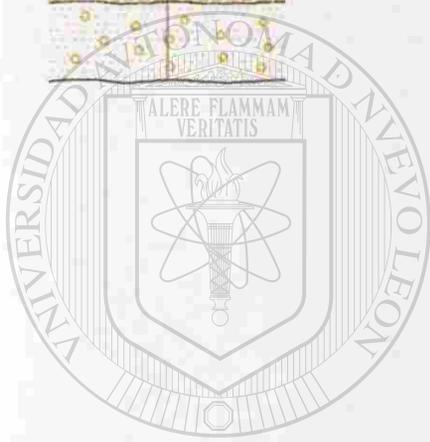


APROVECHAMIENTO No. 32



SIMBOLOGIA

-  Arcilla
-  Limo
-  Arcilla limosa con materia organica
-  Arena
-  Arena limoso
-  Gravas
-  Lutitas



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

COMPORTAMIENTO HIDRAULICO Y GEOQUIMICO  
 DEL ACUIFERO GRANULAR DE LA CUENCA DE  
 PAREDÓN-ICAMOLE, ENTRE LOS ESTADOS DE  
 NUEVO LEÓN Y COAHUILA, EN MÉXICO

FIGURA No. 13. CORTES LITOLÓGICOS DE  
 ALGUNOS POZOS LOCALIZADOS EN LA CUENCA

#### **4.4 Unidades Hidrogeológicas**

Al igual que en la estratigrafía, se tienen sólo dos unidades hidrogeológicas compuestas por la litología del grupo Difunta y la unidad integrada por los depósitos aluviales.

La unidad del grupo Difunta se considera impermeable por su constitución predominantemente arcillosa. Sin embargo, el plegamiento de las rocas produjo un intenso fracturamiento que ha permitido el almacenamiento de agua en zonas locales, en donde las condiciones estructurales, litológicas y de fracturamiento han sido favorables para retener la escasa precipitación pluvial del área (manantiales La Virgen y El Antrisco). Esta unidad aflora en un 56 %, aproximadamente, de la superficie de estudio y constituye la mayoría de las estructuras del área.

La unidad que se considera permeable es la compuesta por los depósitos aluviales, los cuales poseen esta característica debido a la no-consolidación de sus componentes clásticos. Cubre un 44 % del área de estudio y presenta espesores de 20 a 60 m aproximadamente. Sin embargo, la escasa precipitación en esta zona es aprovechada por esta unidad, ya que se encuentra confinada en su parte inferior por las lutitas del grupo Difunta y por las serranías que vienen a formar el sinclinal, transformándolo en una cubeta de almacenamiento (plano N° 5).

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN  
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

#### **4.5 Fallamiento Regional Inferido**

Al analizar el funcionamiento hidrogeológico de la cuenca, todo pareciera indicar que el almacenamiento principal se produce por la recarga local de la precipitación hacia el aluvión; pero para el caso particular, se infiere que existe una comunicación de flujo subterráneo con otras cuencas, esto debido a la presencia de fallas y fracturas de dimensiones regionales que influyen de manera directa en la circulación y recarga del flujo subterráneo.

Una de las fallas regionales identificadas es la de San Marcos, la cual se localiza en la parte norte del bloque de Coahuila, dividiendo las cuencas de Parras y de La Popa (figura N° 14). El deslizamiento en estas estructuras es postulado o se manifiesta por

tener un acomodamiento proporcional de la abertura del Golfo de México durante la separación de Pangea (Gary y Chris, 1995).

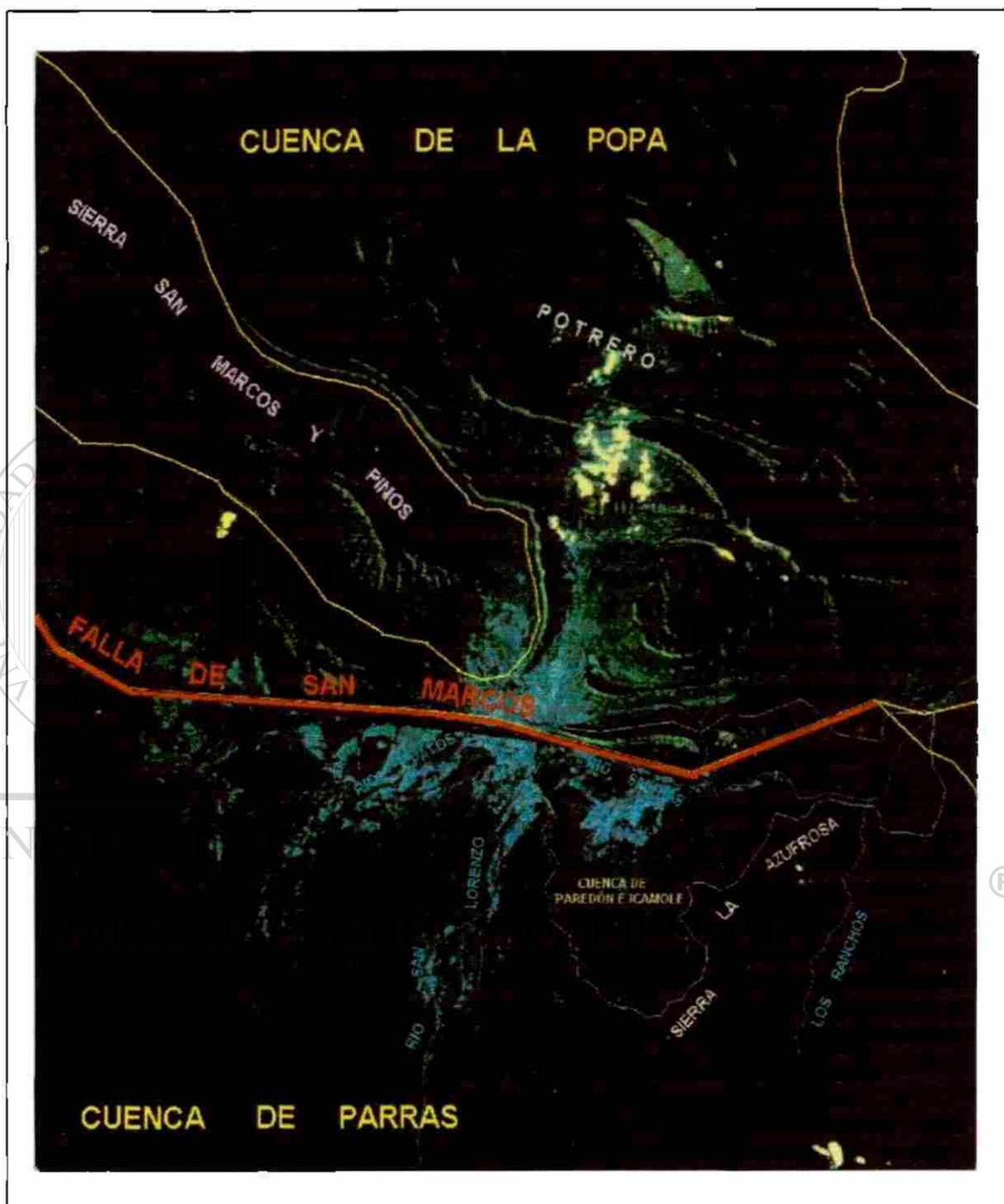


Figura N° 14. Localización de la falla regional de San Marcos

Esta falla tuvo actividad en el Jurásico Tardío, como un estado previo, éste representó un cambio en el tipo o modelo estructural transversal a esta falla, con un pliegue apretado separado por estructuras contraídas hacia el sur y característicos pliegues gruesos de sal retraídos hacia el norte (Gary y Chris, 1995). El movimiento oscilatorio de sube y baja en esta falla, al mismo tiempo que cuando se depositaron evaporitas, en escala regional, pudo explicar porqué fue preferencialmente depositada la sal en la cuenca de la Popa, considerando también que la presencia o registro de rocas basálticas del bloque de Coahuila pudo tener una importante participación en determinar la forma de las cuencas de Parras y La Popa (figura N° 15).

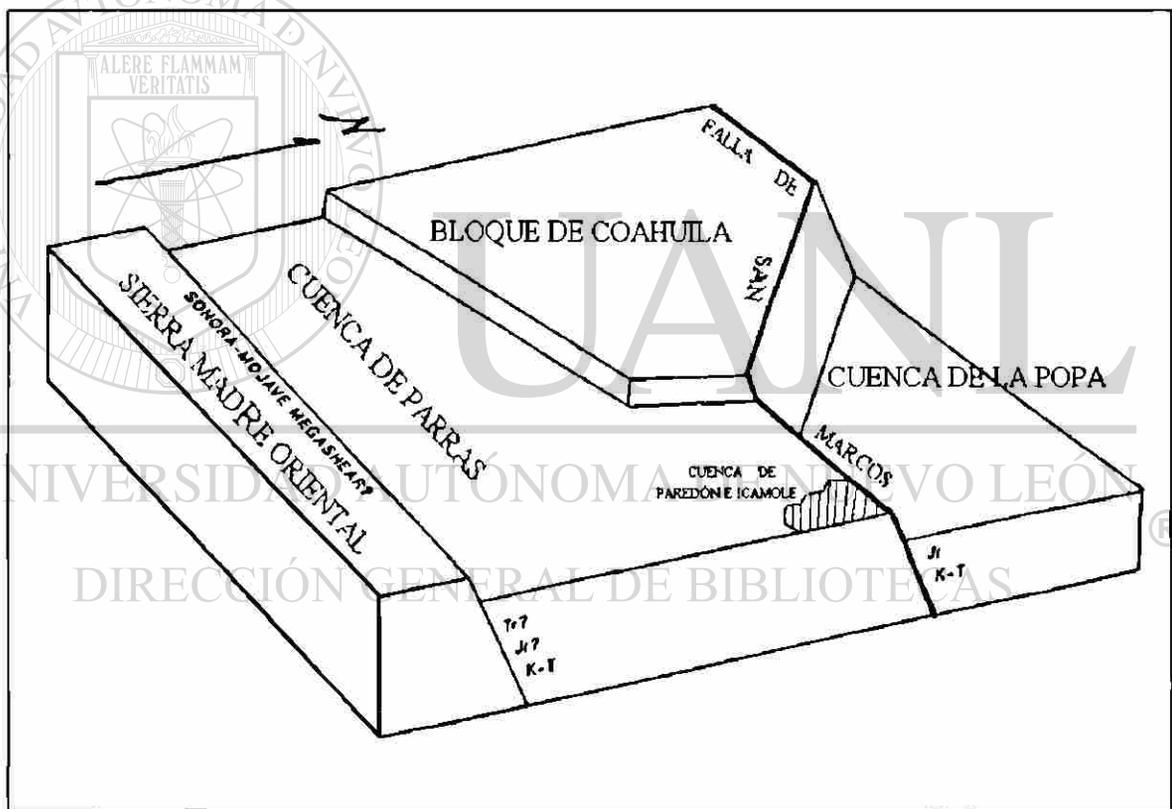


Figura N° 15. Esquema hipotético y representativo del posible graben formado por las estructuras geológicas a escala regional

Conocido el esquema general del desarrollo de la falla en la región, se realizó la interpretación geohidrológica correspondiente, la cual presume que la falla puede influir de manera directa en la recarga del acuífero que se aloja en la Cuenca de Paredón-Icamole, infiriendo una posible recarga paralela a dicha falla, en las cuencas aledañas por donde pasa, lo cual indicaría que se origina recarga en las estribaciones de las sierras La Paila, La Gavia, San Marcos y Sierra Pinta (figura N° 16).

Considerando lo anterior, queda establecido que una parte de la recarga subterránea del acuífero alojado en la Cuenca de Paredón-Icamole está en función del volumen de precipitación, escurrimiento e infiltración que se origine en las sierras paralelas a la falla de San Marcos.

Una de las observaciones realizadas en el campo y que ratifican la influencia de la recarga subterránea del acuífero, debido a la probable existencia de la falla, es la rápida recuperación del nivel estático registrado en los pozos de extracción ubicados en la franja de influencia inferida por donde pasa la falla, a pesar de la cercanía del río Salinas, con los pozos observados, los niveles registrados así como su recuperación han sido tomados en época de sequía cuando el río no registra ningún escurrimiento y aun así la recuperación del nivel estático en los pozos es en pocos minutos.

Es importante mencionar que debido a la presencia de manantiales con aguas azufrosas y termales, en el área de estudio, es muy probable que parte del agua que se infiltra y circula por la falla de San Marcos llegue a grandes profundidades (considerando que pueda haber otras fuentes y no únicamente esta falla) donde tenga contacto con temperaturas muy altas, originadas por la presencia de intrusivos que probablemente, su hipótesis esta vinculada a una cámara magmática (Rodríguez M. 1996), la cual hace que al circular el agua hacia la cámara, esta se transforme en vapor y al ascender provoque un intercambio de temperatura con las recargas superficiales, donde se registran temperaturas de 45 °C (figura N° 17).

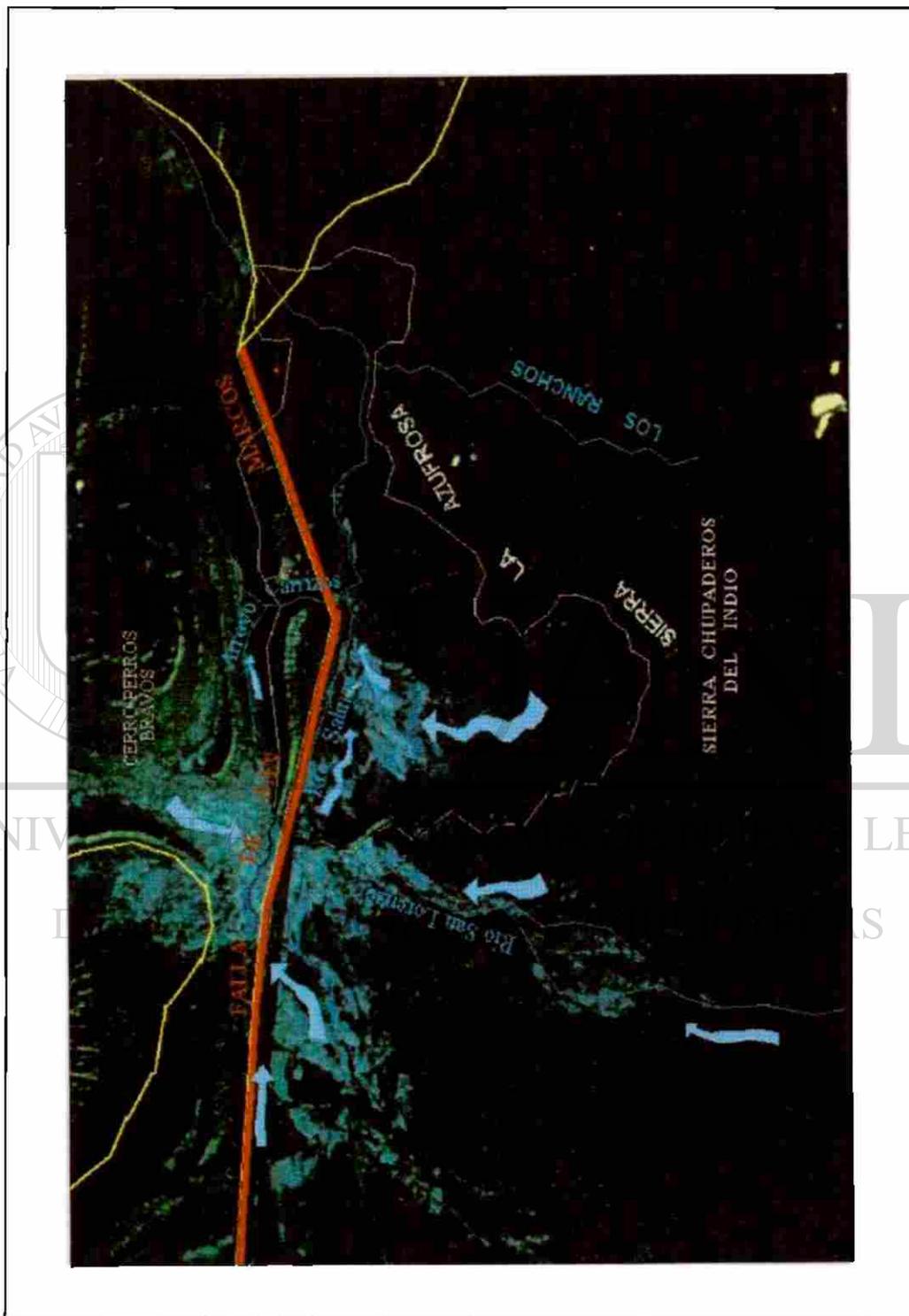


Figura N° 16. Recarga y circulación del flujo subterráneo hacia la Cuenca de Paredón-Icamole

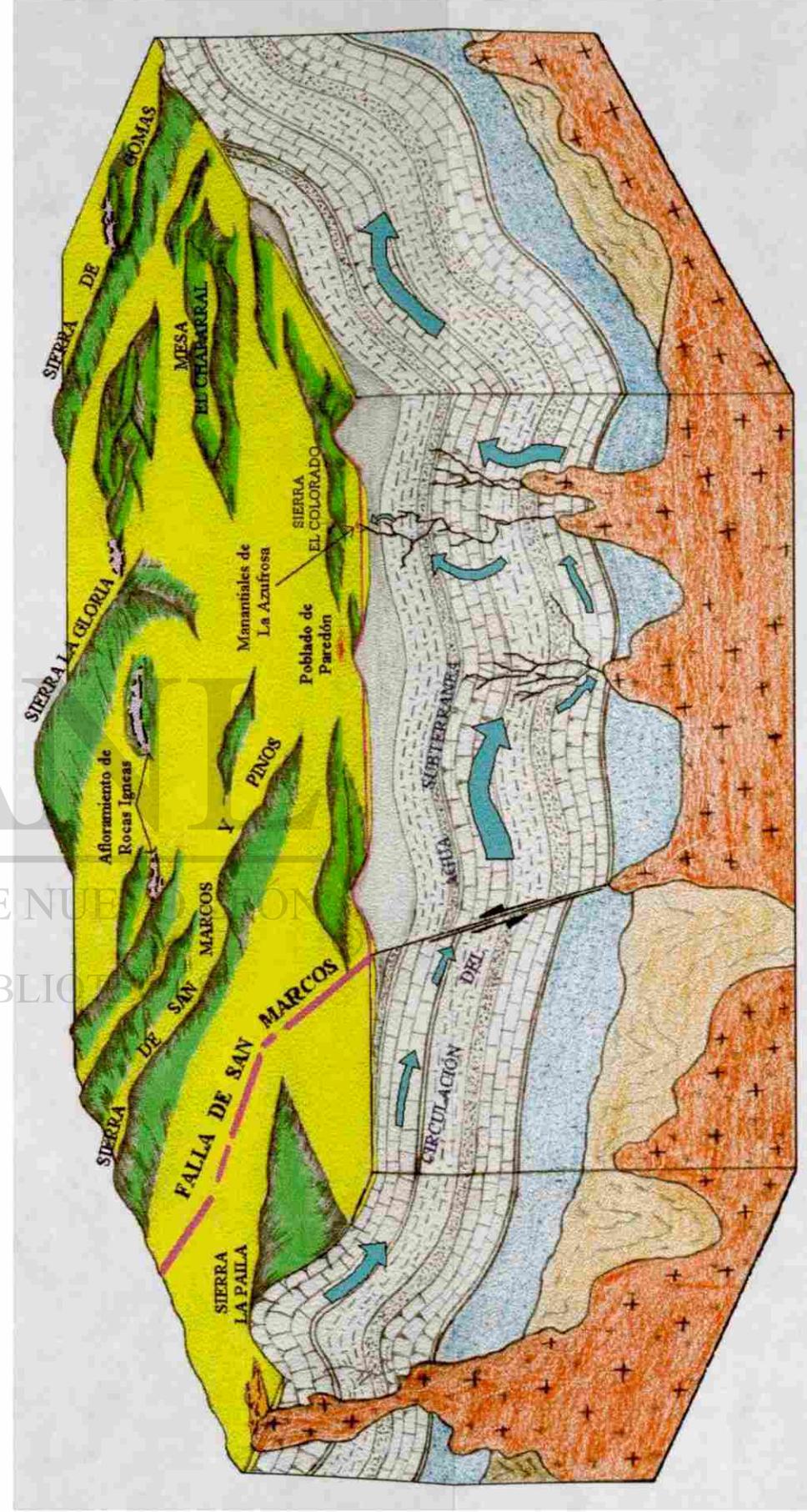
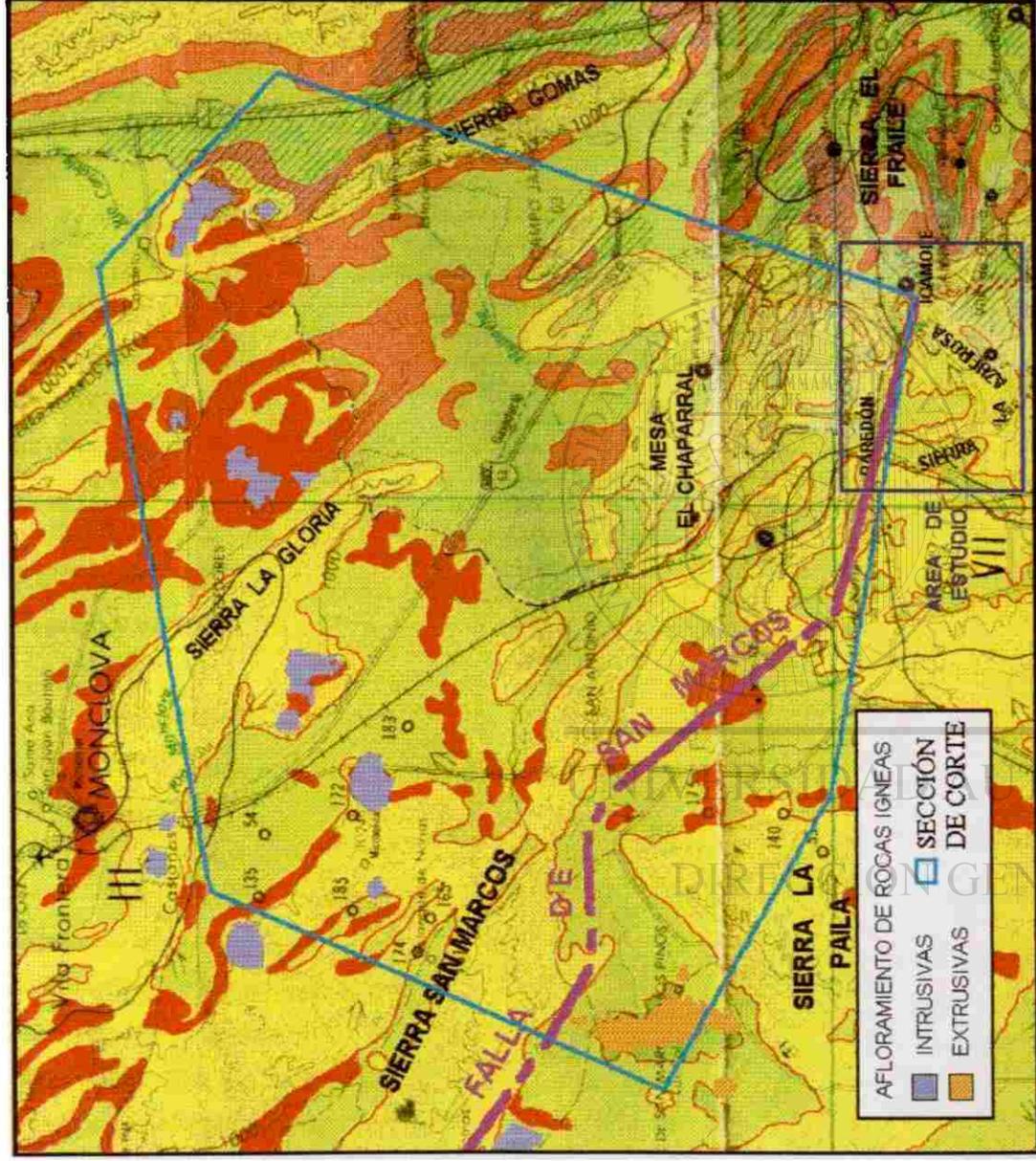


Figura N° 17. Bloque diagramático representando la posible correlación de la Falla de San Marcos y las fuentes de aguas termales y azufrosas en la Cuenca de Paredón-Icamole

## 5. HIDROLOGÍA SUBTERRÁNEA

### 5.1 Censo de Aprovechamientos

Dentro de las actividades del estudio geohidrológico de la cuenca de Paredón-Icamole, se realizó un censo de aprovechamientos de agua subterránea localizados en el área. Se registraron 32 obras; de las cuales 24 son pozos, 2 papalotes y 6 manantiales. De la totalidad de los pozos, 7 no se explotan y 1 se encuentra en proceso de construcción; en su mayoría, este tipo de obras se localizan en la porción noroeste del área en estudio. Referente a los manantiales, éstos se alojan en el lado suroeste de la cuenca; en el plano N° 6 se puede apreciar la distribución de los diferentes aprovechamientos en la cuenca. La información más detallada de cada uno de los aprovechamientos se encuentra en la tabla N° 15.

En la mayoría de los aprovechamientos censados, el uso del agua extraída del acuífero se emplea en actividades agropecuarias, aproximadamente un 92 %, solamente un pozo y un manantial tienen uso doméstico.

Con relación a la profundidad de los pozos, éstos no rebasan los 150 m, generalmente fluctúan entre los 50 y los 100 m. Es importante mencionar que todos están emplazados en aluvión y areniscas.

### DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Para el aforo de los gastos generados por los pozos se utilizó el método de la escuadra, en el caso de los manantiales se contempló el método de sección-velocidad y se complementó con el consumo generado por el número de personas beneficiadas en el caso de uso doméstico, así como también el generado por el ganado, para el caso de abrevadero; una vez determinados los gastos de extracción en cada aprovechamiento, se consideró el tiempo de operación de los pozos, así como el de emanación del agua en los manantiales y se calculó el volumen anual de explotación. En algunos pozos no fue posible medir directamente el gasto, debido a que en éstos la tubería de descarga se encuentra conectada a la red de riego, por lo que el gasto se determinó considerando las características de la bomba, del motor y tomando como base el caudal aforado en otros pozos que presentan las mismas condiciones que los ya mencionados.

Referente a los caudales de extracción de los pozos; se tienen 10 obras con un caudal de 50 a 51 lt/s, que representan el 59 % del total de pozos en explotación; 4 obras tienen un caudal de 32 lt/s que representan el 23 %; las tres obras restantes tienen caudales de 11, 6.5 y 1.5 lt/s, representando así el 18 % del total. En lo que se refiere a los manantiales, éstos presentan caudales de 1 a 4 lt/s.

## 5.2 Piezometría

Simultáneamente a la realización del censo de aprovechamientos, se seleccionaron aquellos que presentaron las condiciones adecuadas para tomar la lectura del nivel estático (no estar bombeando, tener acceso al pozo, tener orificio en el cabezal para introducir la sonda y no estar junto a otro aprovechamiento en explotación) por lo cual se localizaron pozos piloto que se mantuvieron en observación. En el plano N° 6, se muestra la localización de los pozos mencionados.

La obtención de las lecturas piezométricas, se realizó en dos etapas, la primera comprendió lecturas tomadas en enero de 1996, la etapa complementaria se llevó a cabo en el mes de diciembre del mismo año. Mediante la obtención de estas lecturas se trazaron las configuraciones piezométricas correspondientes a cada etapa.

Los datos de piezometría se muestran en la tabla N° 16 (se presentan los abatimientos) la cual contiene también las cotas de elevación de brocal de los pozos que se mantuvieron en observación.

En el plano N° 7 se muestra la configuración de la elevación del nivel estático, correspondientes a enero de 1996, mediante la cual se aprecia que en la zona noroeste donde se concentran la mayoría de los aprovechamientos, se registran los valores más grandes de profundidad del nivel estático, estos valores varían de 25 a 35 m. Los aprovechamientos localizados al noreste, presentan valores medios de 15 a 18 m y los valores mínimos de 0 a 3 m, se registran en los manantiales ubicados hacia el sur de la cuenca.

En lo referente a las elevaciones, de los niveles, registradas en diciembre de 1996 (plano N° 8), éstas presentaron fluctuaciones que no afectaron el esquema general (dirección del flujo) de la configuración del nivel estático, realizado en la primera etapa.

CENSO											
N° Aprovechamiento	Nombre del Propietario	Localidad o Ranchería	Municipio y Estado	Tipo de Obra	Diám. o Secc. de Perforación (pulg)	Diám. o Secc. del Ademe (pulg)	Diámetro de Succión (pulg)	Diámetro de Descarga (pulg)	Tipo de Bomba	Tiene Motor	Tipo de Motor
1	Clemente Garibay	San Francisco	Ramos Arízpe, Coahuila	Pozo	16	14	3 1/2	3	Pozo Profundo	Sí	Sumergible
2	Francisco García C.	San Fernando	"	Pozo	18	14	8	8	Pozo Profundo	Sí	Superficial
3	Rosendo Valdes	San Ignacio	"	Pozo	18	14	8	8	Pozo Profundo	Sí	Superficial
4	Rosendo Valdes	San Ignacio	"	Pozo	18	14	8	8	Pozo Profundo	Sí	Superficial
5	Rosendo Valdes	San Ignacio	"	Pozo	18	14	8	8	Pozo Profundo	Sí	Superficial
6	Lorenzo Fdez.	Rcho. Estrella	"	Pozo	18	14	8	8	Pozo Profundo	Sí	Superficial
7	Lorenzo Fdez.	Rcho. Estrella	"	Pozo	18	14	6	6	Pozo Profundo	Sí	Superficial
8	Lorenzo Fdez.	Rcho. Estrella	"	Pozo	18	14	Sin Succión	Sin Sec. Desc.	Pozo Profundo	No	
9	Lorenzo Fdez.	Rcho. Estrella	"	Pozo	18	14	8	8	Pozo Profundo	Sí	Superficial
10	Lorenzo Fdez.	Rcho. Estrella	"	Pozo	18	14	6	6	Pozo Profundo	Sí	Superficial
11	Rosendo Valdes	San Ignacio	"	Pozo	18	14	8	8	Pozo Profundo	Sí	Superficial
12	Rosendo Valdes	San Ignacio	"	Pozo	18	14	8	8	Pozo Profundo	Sí	Superficial
13	Armando Rivera	Sta. Herminia	"	Pozo	18	14	8	8	Pozo Profundo	Sí	Superficial
14	Armando Rivera	Sta. Herminia	"	Pozo	18	14	8	8	Pozo Profundo	Sí	Superficial
15	Armando Rivera	Sta. Herminia	"	Pozo	18	14	6	6	Pozo Profundo	Sí	Superficial
16	Armando Rivera	Sta. Herminia	"	Pozo	18	14	6	6	Pozo Profundo	Sí	Superficial
17	Armando Rivera	Sta. Herminia	"	Pozo	18	14	4	4	Pozo Profundo	Sí	Superficial
18	Ejido La Virgen	La Virgen	"	Manantial	2 m X 2 m	Sin recubrimiento	2	Sin Sec. Desc.	No Tiene	No	
19	Teofilo Ramirez	El Antrisco	"	Manantial	3 m X 2.7 m	Sin recubrimiento	2 y 1	1 1/2 y 1	No Tiene	No	
20	Ejido Azufrosa	Cañada Piloncillos	"	Pozo	18	16	Sin Succión	Sin Sec. Desc.	No Tiene	No	
21	Ejido Azufrosa	La Azufrosa	"	Manantial	4 m X 4 m	4 m X 4 m	Sin Succión	Sin Sec. Desc.	No Tiene	No	
22	Ofelia Carreón	La Azufrosa	"	Manantial	4 m X 4 m	4 m X 4 m	Sin Succión	1 1/2	No Tiene	No	
23	Salvador Magallanes	San Joaquín	"	Manantial	4 m X 3.5 m	4 m X 3.5 m	Sin Succión	2 1/2	No Tiene	No	
24	Salvador Magallanes	San Joaquín	"	Papalote	1.2 m X 1.6 m	1.2 m X 1.6 m	2	1 1/2	Papalote	No	
25	Amador Delgadillo	Las Cuatas	"	Manantial	Diamero de 5 m	Sin recubrimiento	Sin Succión	Sin Sec. Desc.	No Tiene	No	
26	Manuel García C	Los Barriales	"	Pozo	18	No Tiene	Sin Succión	Sin Sec. Desc.	No Tiene	No	
27	Manuel García C	Los Barriales	"	Pozo	14	No Tiene	Sin Succión	Sin Sec. Desc.	No Tiene	No	
28	Manuel García C	Los Barriales	"	Pozo	14	No Tiene	Sin Succión	Sin Sec. Desc.	No Tiene	No	
29	Ejido El Milagro	El Milagro	García, Nuevo León	Pozo	16	14	Sin Succión	Sin Sec. Desc.	No Tiene	No	
30	Ejido El Milagro	El Milagro	García, Nuevo León	Pozo	16	14	Sin Succión	Sin Sec. Desc.	No Tiene	No	
31	Ejido El Milagro	El Milagro	García, Nuevo León	Pozo	16	14	Sin Succión	Sin Sec. Desc.	No Tiene	No	
32	Ejido El Milagro	El Milagro	García, Nuevo León	Papalote	16	14	2	1 1/2	Papalote	No	

Tabla 15. Censo

DE APROVECHAMIENTOS															
Caballaje H. P.	Uso del Agua	N° Hras. Regadas	N° Cabezas Ganado	N° Personas	Gasto Lts/seg	Extracción m <sup>3</sup>		Volúmen Anual m <sup>3</sup>	Ni el (m)		Altitud mnsnm	Coordenadas Geograficas		Fecha del Censo	Observaciones
						hrs/día	días/año		Estático	Dinámico		Latitud	Longitud		
	Agrícola	6	95	0	6.5	12	270	07.6E+04	38.50	42.80	770.30	25° 56' 07"	100° 54' 45"	18-Ene-96	Riego por medio de aspersión
75	Agrícola	50	0	3	51	22	260	01.050E+06	32.15		763.15	25° 55' 44"	100° 54' 28"	18-Ene-96	Se realizo prueba de bombeo en julio de 1997
75	Agrícola y Abrevadero	44	240	3	50	22	260	01.030E+06			762.90	25° 55' 22"	100 54' 15"	18-Ene-96	Riego por medio de aspersión
75	Agrícola y Abrevadero	44	240	5	50	20	240	86.400E+04			763.30	25° 55' 46"	100 54' 04"	18-Ene-96	Riego por medio de aspersión
75	Agrícola y Abrevadero	44	240	5	50	20	240	86.400E+04	26.00		763.40	25° 55' 58"	100° 53' 58"	18-Ene-96	Riego por medio de aspersión
75	Agrícola	45	0	0	51	22	270	01.091E+06	26.40		759.90	25° 55' 05"	100° 54' 14"	18-Ene-96	Riego por medio de aspersión
50	Agrícola	45	0	3	32	20	240	55.296E+04	26.50		759.75	25° 54' 59"	100° 54' 03"	18-Ene-96	Riego por medio de aspersión
	Agrícola								28.00		759.95	25 55' 03"	100 53' 50"	18-Ene-96	Pendiente instalar motor y bomba
50	Agrícola	45	0	6	50	22	240	95.040E+04			760.10	25° 55' 20"	100° 53' 43"	18-Ene-96	Cabezal sellado
50	Agrícola	45	0	2	32	20	270	62.208E+04	28.30		759.85	25° 55' 24"	100° 53' 39"	22-Ene-96	
75	Agrícola y Abrevadero	44	240	5	51	20	260	95.472E+04			759.80	25° 55' 28"	100° 53' 36"	22-Ene-96	No se registro N. E.
75	Agrícola y Abrevadero	44	240	0	51	22	260	01.050E+06			759.50	25° 55' 40"	100° 53' 31"	22-Ene-96	No se registro N. E.
50	Agrícola	32	0	0	50	22	240	95.040E+04	23.85		757.30	25° 55' 03"	100° 53' 26"	22-Ene-96	
50	Agrícola	32	0	0	50	22	270	01.069E+06			757.10	25° 55' 06"	100 53' 24"	22-Ene-96	No se registro N. E.
50	Agrícola	32	4	2	32	20	260	59.904E+04		31.15	757.15	25° 55' 11"	100° 53' 21"	22-Ene-96	No se registro N. E.
50	Agrícola	32	0	0	32	20	240	55.296E+04			751.80	25° 55' 41"	100° 52' 39"	22-Ene-96	No se registro N. E.
50	Agrícola	32	0	0	11	22	260	22.651E+04	17.35		748.85	25° 55' 33"	100° 52' 24"	23-Ene-96	
	Domestico y Abrevadero	0	70	1	1	24	365	03.154E+04	0.00		849.70	25° 51' 23"	100° 54' 13"	23-Ene-96	Abrevadero del rancho la Virgen
	Domestico y Abrevadero	0	200	81	4	24	365	12.614E+04	0.00		1010.60	25° 49' 38"	100° 51' 32"	23-Ene-96	Abastece a la comunidad de la Azufrosa
	Sin Explotar								44.40		884.80	25° 51' 49"	100° 51' 10"	23-Ene-96	Pozo con 3 m de ademe, abandonado
	Sin Explotar								3.10		773.65	25° 52' 45"	100° 52' 09"	23-Ene-96	Proyecto para baños termales
	Recreación y Agrícola	5	100	2	2	24	365	06.307E+04	0.30		770.65	25° 52' 48"	100° 52' 10"	23-Ene-96	El agua de los baños se utiliza para riego
	Recreación y Agrícola	5	60	1	4	24	365	12.614E+04	3.00		774.95	25° 53' 03"	100 51' 54"	23-Ene-96	El agua de los baños se utiliza para riego
	Sin Explotar								3.45		775.70	25° 53' 02"	100° 51' 53"	23-Ene-96	Actualmente sin uso, papalote descompuesto
	Domestico y Abrevadero	0	330	5	2	24	365	06.307E+04	0.00		759.80	25 53' 28"	100 51' 52"	23-Ene-96	Manantial para abrevadero, muy contaminado
	Sin Explotar								12.90		749.10	25° 54' 54"	100° 51' 49"	23-Ene-96	Pozo sin explotación
	Sin Explotar								12.60		749.20	25° 54' 59"	100° 51' 46"	23-Ene-96	Pozo sin explotación
	Sin Explotar								12.70		745.75	25 55' 20"	100 51' 42"	23-Ene-96	Pozo sin explotación
	Sin Explotar								16.50		726.50	25° 55' 03"	100° 49' 07"	18-Ene-96	Pozo sin equipo (abandonado) sin explotar
	Sin Explotar								17.80		728.20	25° 55' 09"	100° 48' 48"	18-Ene-96	Pozo sin equipo (abandonado) sin explotar
	Sin Explotar								14.95		710.40	25 54' 47"	100° 48' 37"	18-Ene-96	Pozo sin equipo (abandonado) sin explotar
	Domestico y Abrevadero	0	0	50	1.5	8	325	01.404E+04	14.70	20.70	724.80	25° 54' 59"	100° 48' 25"	18-Ene-96	Papalote llena una pila, para uso de la comunidad

de aprovechamientos subterráneos

CUENCA PAREDON-ICAMOLE									
N° de Aprovechamiento	Nivel Estático (m)	Elevación Brocal msnm	Elevación del N. E. msnm	Fecha de Lectura	Nivel Estático (m)	Elevación Brocal msnm	Elevación del N. E. msnm	Fecha de Lectura	Abatimiento m (*)
1	38.50	773.50	735.00	18-Ene-96	39.30	773.50	734.20	27-Dic-96	-0.80
2	32.15	766.70	734.55	18-Ene-96	33.00	766.70	733.70	27-Dic-96	-0.85
3		762.80		18-Ene-96		762.80			
4		764.40		18-Ene-96		764.40			
5	26.00	764.60	738.60	18-Ene-96	27.10	764.60	737.50	27-Dic-96	-1.10
6	26.40	759.90		18-Ene-96		759.90			
7	26.50	759.60		18-Ene-96		759.60			
8	28.00	759.95	731.95	18-Ene-96	29.15	759.95	730.80	27-Dic-96	-1.15
9		760.10		18-Ene-96		760.10			
10	28.30	759.85	731.55	22-Ene-96	29.50	759.85	730.35	27-Dic-96	-1.20
11		759.80		22-Ene-96		759.80			
12		759.50		22-Ene-96		759.50			
13	23.85	757.30	733.45	22-Ene-96	24.25	757.30	733.05	27-Dic-96	-0.40
14		757.10		22-Ene-96		757.10			
15		757.15		22-Ene-96	23.60	757.15	733.55	27-Dic-96	
16		751.80		22-Ene-96	19.00	751.80	732.80	27-Dic-96	
17	17.35	748.85	731.50	23-Ene-96	18.10	748.85	730.75	27-Dic-96	-0.75
18	0.00	849.70	849.70	23-Ene-96	0.00	849.70	849.70	27-Dic-96	0.00
19	0.00	1010.60	1010.60	23-Ene-96	0.00	1010.60	1010.60	27-Dic-96	0.00
20	44.40	884.80	840.40	23-Ene-96	44.40	884.80	840.40	28-Dic-96	0.00
21	3.10	773.65	770.55	23-Ene-96	3.10	773.65	770.55	28-Dic-96	0.00
22	0.30	770.65	770.35	23-Ene-96	0.30	770.65	770.35	28-Dic-96	0.00
23	3.00	774.95	771.95	23-Ene-96	3.00	774.95	771.95	28-Dic-96	0.00
24	3.45	775.70	772.25	23-Ene-96	3.50	775.70	772.20	28-Dic-96	-0.05
25	0.00	759.80	759.80	23-Ene-96	0.00	759.80	759.80	28-Dic-96	0.00
26	12.90	749.10	736.20	23-Ene-96	13.30	749.10	735.80	27-Dic-96	-0.40
27	12.60	749.20	736.60	23-Ene-96	13.00	749.20	736.20	27-Dic-96	-0.40
28	12.70	745.75	733.05	23-Ene-96	13.05	745.75	732.70	27-Dic-96	-0.35
29	16.50	726.50	710.00	18-Ene-96	16.90	726.50	709.60	28-Dic-96	-0.40
30	17.80	728.20	710.40	18-Ene-96	18.30	728.20	709.90	28-Dic-96	-0.50
31	14.95	710.40	695.45	18-Ene-96	15.30	710.40	695.10	27-Dic-96	-0.35
32	14.70	724.80	710.10	18-Ene-96	15.25	724.80	709.55	28-Dic-96	-0.55

\* El signo "-" (menos) significa que el nivel estático (N. E.) presenta un nivel más bajo que el registrado en la primera etapa de lecturas (enero de 1996).

Tabla 16. Piezometría y registro de abatimientos

### 5.3 Flujo Subterráneo y Abatimientos

Para conocer la forma del esquema general del flujo subterráneo, así como los gradientes con los cuales fluye el agua subterránea, se elaboraron los planos N° 7 y N° 8, en los cuales se presentan las configuraciones de elevaciones del nivel estático, referidas al nivel medio del mar, correspondientes a enero y diciembre de 1996. Básicamente, para la realización de estas configuraciones se consideraron las condiciones en las que ocurre el flujo subterráneo, en cuanto a las características topográficas, geológicas e hidrológicas del área de estudio, formando con esto un sistema de control del flujo.

De igual forma que en la piezometría, las configuraciones obtenidas de las fechas mencionadas son semejantes y muestran una dirección del flujo subterráneo de sur a norte, de los manantiales La Virgen, La Azufrosa, Las Cuatas y San Joaquín, hacia el río Salinas, cambiando de rumbo para confluir con el flujo que tiene una dirección preferencial de oeste a este, de los ranchos San Francisco, San Ignacio y Rancho Nuevo, hacia la rancharía El Milagro, circulando toda el agua hacia la salida de la cuenca (Boca Las Tranquitas).

Lo anterior permite inferir y clasificar la presencia de los distintos flujos subterráneos que alimentan al acuífero en estudio. A continuación se menciona la descripción de la ocurrencia de estos flujos:

Inicialmente, se tiene el flujo proveniente de una infiltración reciente, el cual se origina en las partes altas de la sierra que forman el parteaguas del valle así como también en las sierras de las cuencas adyacentes, esta agua circula por un medio fracturado existente en la formación de la lutita arenisca, lo que origina que dicho escurrimiento subterráneo aflore a la superficie en las partes altas de los abanicos aluviales formando varios manantiales, de los cuales sólo unos cuantos presentan un escurrimiento permanente. Un ejemplo de esto son los manantiales de El Antrisco y La Virgen, los cuales contribuyen con su escurrimiento a la infiltración del agua en el aluvión y por consiguiente una recarga en el acuífero. Esta recarga no es muy grande ya que la mayoría se pierde por efecto de la evaporación.

Otra forma de recarga, considerable, hacia el acuífero es mediante la infiltración directa hacia el aluvión, que se realiza sólo en época de lluvias y que tiene su origen en el lecho del río Patos-Salinas, el cual atraviesa el valle con una dirección de flujo de

oeste a este, y que influye de forma directa en la recuperación de niveles piezométricos paralelos a dicho escurrimiento.

En cuanto a la presencia de aguas termales y azufrosas, registradas en los manantiales de San Joaquín y La Azufrosa, se infiere que estas aguas tienen su origen o que circulan a grandes profundidades bajo presiones y temperaturas muy altas, así como en medios de fallas y fracturas profundas que se comunican con alguna cámara magmática, lo que origina que el agua presente una composición química muy concentrada en sulfatos y adquiera una temperatura muy elevada; todo este conjunto de factores propicia la presencia de artesianismo en estos aprovechamientos. Una vez que aflora el escurrimiento hacia la superficie, éste sufre una variación drástica en su temperatura y composición química con relación al tiempo de circulación por el terreno. Estos escurrimientos permanentes propician una infiltración y adicionalmente una recarga del acuífero en el aluvión.

Una recarga que influye de forma directa en el acuífero es la originada por la entrada del agua subterránea proveniente del valle de Paredón, la cual es aprovechada por los pozos localizados en el noroeste de la cuenca, donde el nivel estático presenta una recuperación muy rápida; en combinación con lo anterior, es muy probable que exista una recarga adicional, que se origine por una recarga vertical subterránea proveniente de un medio fracturado, el cual se infiere esté localizado en la parte norte de la cuenca y que corre paralelo a las sierras de EL Maneadero y El Colorado. Según estudios geológicos previos (Gary y Chris, 1995), este fracturamiento puede ser la continuación de uno localizado a nivel regional, denominado "Falla de San Marcos", el cual se extiende desde la plataforma de Coahuila hasta la cuenca de la Popa. Es muy probable que por medio de esta falla circule un flujo subterráneo que es alimentado en diferentes cuencas y, por consiguiente, también presente varias descargas, haciendo énfasis en que una de ellas contribuya a la recarga del acuífero en estudio.

En la figura N° 16 se presenta la zonificación de los diferentes flujos subterráneos que alimentan al acuífero del valle.

Una vez identificadas las recargas del acuífero, se procedió a determinar los gradientes de flujo, los cuales presentan valores variables que van desde 0.09 a 0.4, correspondiendo los más altos a la zona noroeste, donde se concentra la mayor cantidad

de aprovechamientos en explotación y los más bajos correspondientes a la zona noreste, donde los aprovechamientos registran muy poco abatimiento.

Las fluctuaciones de los niveles del agua subterránea, permiten estimar cuantitativamente la relación entre la magnitud de la recarga y la descarga, y revelan objetivamente los efectos de la explotación. Además, su conocimiento es necesario para calcular la variación del almacenamiento subterráneo.

En el plano N° 9, se presenta la configuración de los abatimientos originados en el intervalo de enero a diciembre de 1996. De igual forma se aprecia que el bombeo ha provocado ciertas variaciones en los niveles del acuífero, y que los abatimientos mayores en este período se localizan en las áreas de concentración de pozos.

Los abatimientos medios anuales registrados en el período analizado fluctúan entre los 0.70 y 1.0 m, dependiendo de la concentración de aprovechamientos en el área.

Es importante mencionar que el intervalo de tiempo analizado corresponde a un período de lluvia escasa como lo muestra la gráfica N° 2 (gráfica con los registros de precipitación, capítulo 2) y que el registro de piezometría se realizó en los meses de sequía, por lo que deben de considerarse estos aspectos en toda interpretación derivada de esta información.

---

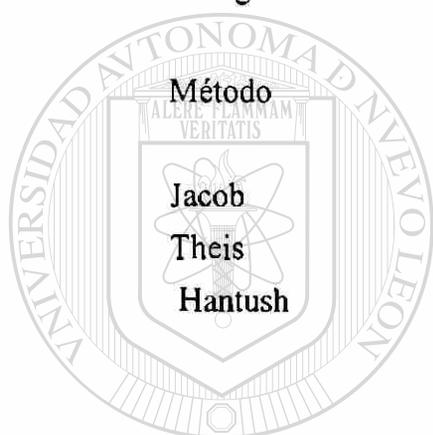
#### **5.4 Características Hidráulicas del Acuífero**

Para determinar las características hidráulicas del acuífero, inicialmente se realizó una clasificación del mismo, se determinó que se trata de un acuífero semiconfinado, considerando las características geológicas que predominan en los materiales en los que se aloja (superficialmente se aprecia una capa de arcilla con limo, otra de arena y grava, y lutita como capa limitante, figura N° 13, capítulo 4).

Una vez determinado el tipo de acuífero, se realizó una prueba de bombeo en el aprovechamiento número 2, localizado en el rancho San Fernando, en la parte noroeste de la cuenca. Se realizó en esta zona considerando la cercanía con el área donde se ubican la mayoría de los aprovechamientos y a la entrada de una posible recarga subterránea proveniente del valle de Paredón.

Adicional a lo anterior, también se consideró que el aprovechamiento donde se desarrolló la prueba está emplazado en materiales geológicos que en su mayoría predominan y constituyen el acuífero estudiado, por lo que se puede considerar que exista una variación aceptable, en la distribución de parámetros hidráulicos en toda la extensión del mismo.

La duración de la prueba consideró un tiempo de observación de 7 horas, período en el cual se apreció una estabilización del nivel dinámico en el pozo de observación, los valores registrados se presentan en las tablas contenidas en el anexo A. Para la interpretación de dicha prueba se utilizaron los métodos de análisis más comunes que fueron los siguientes:



Método	Transmisividad (m <sup>2</sup> /seg)	Coefficiente de almacenamiento
Jacob	0.1080	0.00744
Theis	0.0874	0.01446
Hantush	0.0834	0.01544

De estos métodos analizados se tomaron los valores obtenidos según el criterio de Jacob, ya que es el que considera la mayoría de características que rigen el comportamiento del flujo subterráneo en un acuífero semiconfinado.

#### DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Al analizar los valores obtenidos de transmisividad ( $T = 0.1080 \text{ m}^2/\text{seg}$ ) y coeficiente de almacenamiento ( $S = 0.007$ ) se tiene que el valor inicial representa una capacidad buena del medio para transmitir el agua por consiguiente el acuífero posee una permeabilidad alta la cual caracteriza a los materiales granulares que constituyen el acuífero en aluvión; el segundo parámetro presenta un valor típico de acuífero semiconfinado, lo que refuerza el criterio utilizado para su clasificación.

Los valores promedio de los parámetros mencionados, considerando los métodos adicionales anteriores, son:  $T = 0.0929 \text{ m}^2/\text{seg}$  y  $S = 0.012$ , esto indica que se continúan conservando valores altos de permeabilidad y de las condiciones que rigen al flujo subterráneo en el acuífero.

Al considerar la composición geológica, de los materiales en los que se encuentra el acuífero, la cual es muy similar en toda la extensión del mismo, se puede inferir que los parámetros hidráulicos que lo rigen tendrán valores muy semejantes, de esta forma se reduce la obtención de parámetros en los aprovechamientos localizados en todo el valle y permite una confiable aplicación de los valores obtenidos en la prueba de bombeo.

### 5.5 Recarga y Descarga del Acuífero

La descarga en el acuífero se realiza a través de los manantiales que afloran al pie de las sierras y en forma artificial, por medio de las captaciones de agua subterránea; los volúmenes extraídos se estimaron a partir de los caudales aforados y del tiempo de operación de dichas captaciones (tabla N° 15).

De acuerdo con el censo de aprovechamientos, se cuenta con 22 captaciones en explotación; de las cuales, 11 se emplean para uso agrícola exclusivamente, 5 para agrícola y abrevadero, 4 para uso doméstico y abrevadero y 2 para recreación y uso agrícola.

Referente a la recarga, se tiene una distribución amplia en el área, son sus fuentes principales: el flujo subterráneo y la infiltración de escurrimientos en las estribaciones de las sierras, en combinación con los que entran y drenan a la cuenca en la época de lluvias (río Patos-Salinas).

Para la determinación de la recarga del acuífero, se definieron los términos que componen la ecuación de balance de agua subterránea:

$$R - D = \Delta V$$

Siendo R la recarga, D la descarga y V el cambio de almacenamiento en un intervalo de tiempo seleccionado.

Conocidos los volúmenes de descarga del acuífero y su cambio de almacenamiento en un lapso dado, la recarga puede deducirse despejándola de la expresión anterior.

$$R = D + \Delta V$$

En el caso particular del presente estudio, la descarga se origina a través de los aprovechamientos subterráneos (registrados en el censo de aprovechamientos) cuyo volumen es de 12.927 mill m<sup>3</sup> anuales.

La variación del volumen almacenado se determinó, mediante la evolución de los niveles estáticos registrados en un año de observación (de enero a diciembre de 1996) y el valor obtenido se calculó con la zonificación del acuífero, de acuerdo con los abatimientos medios anuales registrados y al área de balance correspondiente a cada uno de ellos (figura N° 18). En la siguiente tabla se presentan los valores obtenidos.

Zona	Abatimiento medio anual m	Área de balance km <sup>2</sup>	Área de balance 1X10 <sup>6</sup> m <sup>2</sup>	Volumen drenado 1X10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /año
A	0.85	25.70	25.70	21.845
B	0.40	13.90	13.90	5.560
C	0.15	18.80	18.80	2.820
Totales -			58.40	30.225

Tabla N° 17. Determinación del volumen de acuífero drenado

Con la información existente, la ecuación de balance de agua subterránea puede expresarse como:

$$R_1 + R_2 = D - V \times S$$

Donde:

D = Descarga del acuífero por medio de los aprovechamientos de agua subterránea

R1 = Recarga por medio del flujo subterráneo

R2 = Recarga por medio de la infiltración de escurrimientos superficiales

V = Volumen de acuífero drenado

S = Coeficiente de almacenamiento del acuífero

Para la obtención del valor de recarga por medio de la infiltración de escurrimientos superficiales (R2), se realizó el balance hidrológico presentado en el capítulo anterior. El valor estimado del volumen de recarga que anualmente alimenta al acuífero fue de 9.138 mill m<sup>3</sup>.

Despejando la recarga de flujo subterráneo queda:

$$R1 = D - R2 - VXS$$

Sustituyendo valores en la ecuación se obtiene:

$$R1 = 12.927 - 9.138 - 30.225 X S$$

De acuerdo con los materiales que constituyen el acuífero: arcilla limosa, arenas y gravas con intercalaciones de lutitas que le confieren la clasificación de acuífero semiconfinado, se tienen los valores de  $S = 0.007$  según Jacob y de  $0.012$ , tomando el promedio de los métodos empleados. Sustituyendo los valores de cada uno de los casos en la expresión anterior se tiene:

$$S = 0.007, \text{ entonces } R1 = 3.578 \text{ mill m}^3/\text{año}$$

$$S = 0.012, \text{ entonces } R1 = 3.456 \text{ mill m}^3/\text{año}$$

Por lo que se puede indicar que el valor aproximado de la recarga del acuífero por medio de flujo subterráneo es de  $3.50 \text{ mill m}^3/\text{año}$  y la recarga total (infiltración y flujo subterráneo) es de  $12.70 \text{ mill m}^3$ , la cual comparada con la descarga que tiene un valor de  $12.927 \text{ mill m}^3$ , resulta ser un poco inferior ( $0.23 \text{ mill m}^3$ ), por lo que se puede calificar el estado del acuífero en equilibrio con respecto a las descargas registradas y con posibilidades de realizar otros aprovechamientos, pero considerando estrictas políticas de explotación que permitan la conservación del mismo (figura N° 19).

Es importante mencionar que el periodo analizado para la obtención de la recarga, corresponde a un periodo de lluvia escasa, por lo que se deberá considerar toda información derivada del balance realizado.

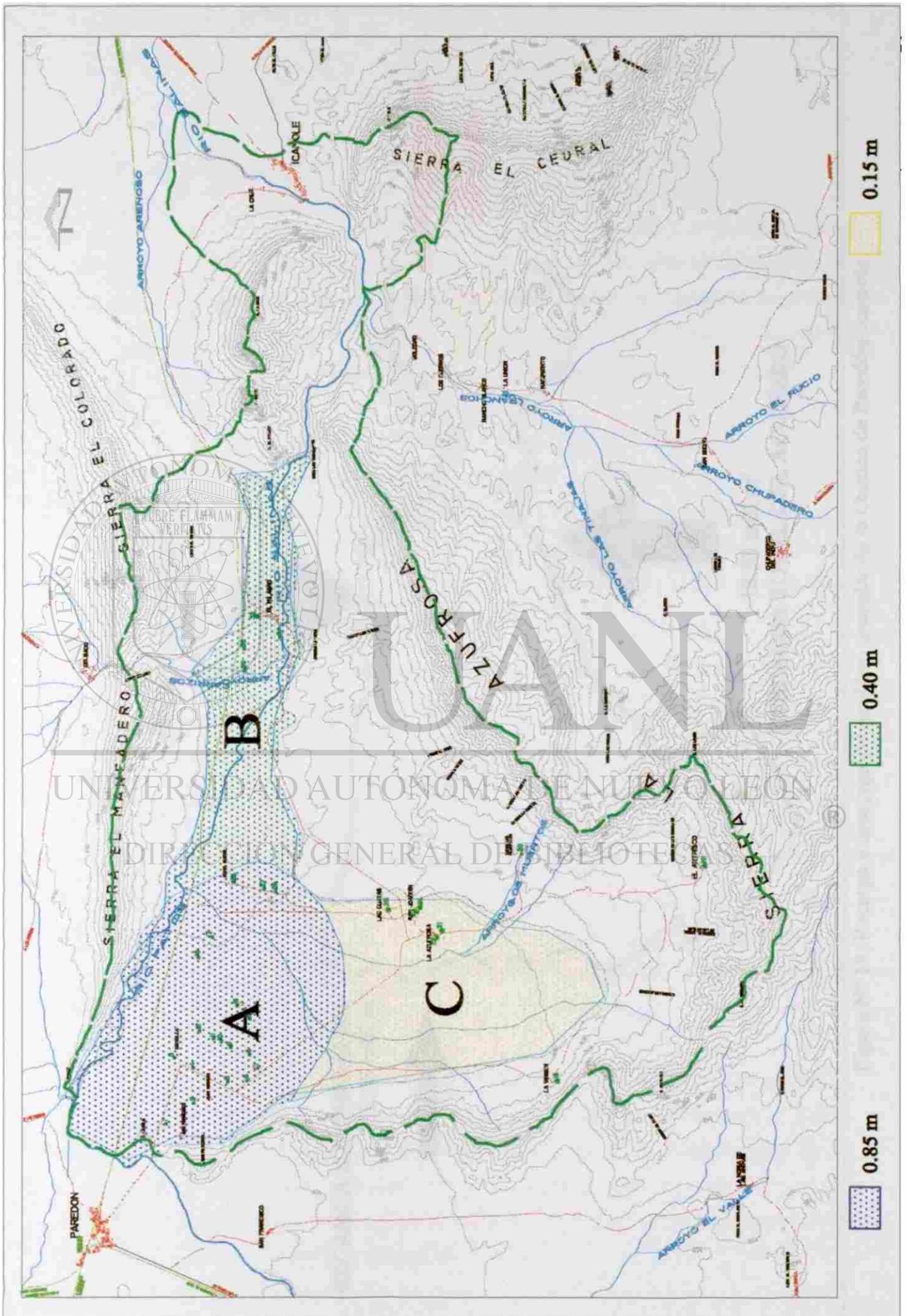


Figura No. 18. Zonificación de abatimientos medios anuales en la Cuenca de Paredón-Icamole



## 6. QUÍMICA DEL AGUA SUBTERRÁNEA

La disponibilidad del agua subterránea está en función principalmente del volumen de recarga que recibe el acuífero en estudio y de la calidad de la misma; dicha calidad está íntimamente relacionada con los materiales que constituyen las formaciones geológicas por las que circula el agua, desde las zonas de recarga hasta las de descarga; durante su recorrido, el agua incrementa su contenido de sales, alterando con esto su composición química y restringiendo su disponibilidad para una futura explotación.

Es importante mencionar, que la acción antropogénica influye también de forma directa en la modificación de la calidad química del agua subterránea. En el presente estudio se considero que la calidad del agua del río Patos, se ve afectada por las descargas de aguas residuales que son vertidas en la ciudad de Ramos Arizpe, Coahuila, debido a que son conducidas por el río La Encantada hasta la confluencia con el río Patos, en la entrada a la Cuenca de Paredón-Icamole.

### 6.1. Muestreo y Análisis del Agua

Durante el desarrollo de las actividades de campo, se tomaron 16 muestras de agua subterránea, de las cuales 11 fueron de pozos y 5 de manantiales. La distribución del muestreo se realizó considerando la ubicación de los diferentes aprovechamientos en el área de estudio, para que una vez obtenidos los resultados de los análisis físico-químicos del agua (tabla N° 18), se realizara una mejor interpretación del comportamiento hidráulico del acuífero, así como -principalmente- de la calidad del agua que lo constituye.

Al realizar la toma de muestras, se empleó el equipo y los materiales adecuados, que permitieron medir directamente en el campo algunos parámetros, como la temperatura (T en °C), el potencial de hidrógeno (pH) y la conductividad (C en  $\mu\text{mhos/cm}$ ), los valores obtenidos se correlacionaron con los registrados en el laboratorio, con el objetivo de evaluar su variación durante el tiempo transcurrido desde la obtención de la muestra hasta su análisis.

**COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO Y GEOQUÍMICO DEL ACUÍFERO GRANULAR DE LA CUENCA DE PAREDÓN-ICAMOLE  
ENTRE LOS ESTADOS DE NUEVO LEÓN Y COAHUILA, EN MÉXICO**

No. de Muestra	No. y tipo de Aprovechamiento	Temperatura °C	pH	Conductividad umhos/cm	STD mg/l	Turbiedad mg/l (SiO <sub>2</sub> )	RAS	Silice mg/l (SiO <sub>2</sub> )	Dureza Total mg/l (CaCO <sub>3</sub> )	Dureza Calcica mg/l (CaCO <sub>3</sub> )	Dureza Magnesia mg/l (CaCO <sub>3</sub> )	Alcalinidad Total mg/l (CaCO <sub>3</sub> )	Ca mg/l	Mg mg/l	Na mg/l	HCO <sub>3</sub> mg/l	SO <sub>4</sub> mg/l	NO <sub>3</sub> mg/l	Cl mg/l
1	1.- Pozo	28	6.5	3650	3860	1.5	3.0	20.7	1800	1010	790	235	404.20	191.97	300	286.75	1589.00	2.5	430.00
2	2.- Pozo	28	6.6	3600	3240	6.3	2.9	20.5	1760	940	820	235	376.75	199.30	280	286.75	1520.50	2.5	336.00
3	5 Pozo	29	6.8	3500	3250	4.7	3.4	21.8	1520	880	640	235	352.70	155.55	300	286.75	1435.00	2.3	355.00
4	10 - Pozo	26	6.8	3765	3135	0.6	3.3	19.5	1600	840	760	200	336.67	184.72	300	244.00	1545.80	2.4	355.00
5	13.- Pozo	25	7.0	3875	3470	1.1	3.4	21.2	1700	820	880	225	328.10	213.80	320	270.00	1498.90	2.6	459.00
6	17 - Pozo	26	6.6	3850	3430	1.1	3.8	23.3	2340	1305	1035	300	522.10	251.52	420	366.00	1798.00	2.6	789.00
7	18 - Manantial La Virgen	24	8.0	2470	5110	15.0	2.7	25.5	496	320	176	476	128.00	42.76	125	580.72	198.40	1.2	65.60
8	19 - Manantial El Anzuresco	23	7.0	1140	1030	17.0	2.3	18.2	310	195	115	240	78.10	27.91	95	292.80	160.10	1.6	75.60
9	22 - Manantial La Azufrosa	45	6.6	3485	2795	15.0	3.8	28.9	1285	890	395	230	356.00	95.98	310	280.60	1392.00	0.8	215.00
10	23 - Manantial San Joaquín	45	6.6	3520	2815	8.3	4.1	28.0	1115	840	275	255	336.00	66.82	315	311.10	1185.00	0.2	236.00
11	25 - Manantial Las Cuevas	28	7.1	4250	3780	66.0	3.4	30.6	1640	1230	410	225	492.00	99.63	317	274.50	1693.00	0.1	265.00
12	26 - Pozo	28	6.7	2425	3310	15.0	3.5	12.4	1450	800	650	250	320.00	157.95	307	305.00	1510.00	1.4	235.00
13	28 - Pozo	30	6.9	3540	3300	21.0	3.4	18.4	1530	820	710	255	328.00	172.53	300	311.12	1505.00	1.9	274.00
14	29 - Pozo	27	7.3	3500	2650	3.3	3.6	16.1	1205	715	490	290	286.00	119.07	290	353.80	1080.00	2.1	320.00
15	31 - Pozo	27	7.3	3565	3175	52.0	5.2	15.6	1050	510	540	300	204.41	131.25	390	365.00	1159.00	1.9	325.00
16	32 - Pozo	30	7.3	1133	850	4.0	4.0	17.5	1170	600	570	283	240.00	138.51	320	345.26	1125.00	2.1	315.00

STD, significa Solidos Totales Disueltos

RAS, significa Relacion de Adsorcion de Sodio

Tabla N° 18. Resultados de los análisis fisicoquímicos del agua subterránea

Los análisis físico-químicos efectuados a las muestras obtenidas, comprendieron la determinación de Sólidos Totales Disueltos, Temperatura, Turbiedad, Iones Mayoritarios (Ca, Mg, Na, HCO<sub>3</sub>, SO<sub>4</sub>, NO<sub>3</sub> y Cl), Sílice, Potencial de Hidrógeno, Conductividad, Dureza Total y Alcalinidad Total, Dureza Cálctica y Dureza Magnésica; los resultados generales de cada una de las determinaciones se presentan en el anexo B.

Los análisis de las muestras, se realizaron siguiendo los procedimientos establecidos en las normas oficiales mexicanas y los procedimientos de los métodos estándar para análisis de agua de la APHA, AWWA y WEF. Los resultados se muestran condensados en la tabla N° 18, de igual forma se presentan los números que identifican a cada aprovechamiento muestreado.

La localización de los aprovechamientos en la cuenca y la distribución del muestreo de agua subterránea, se presenta en el plano N° 10, contenido en el Anexo C.

## **6.2. Distribución Espacial de Índices Geoquímicos**

Mediante la configuración de las concentraciones de los iones mayoritarios, de los parámetros de potencial de hidrógeno, sílice, sólidos totales disueltos y conductividad, se procedió a la interpretación espacial de los índices geoquímicos analizados.

### **Iones Mayoritarios**

De los aprovechamientos muestreados sólo dos, los manantiales de La Virgen y El Antrisco, presentan valores de concentración, de iones mayoritarios, menores a los especificados por la Secretaría de Salud (SS) y la Agencia Protectora del Medio Ambiente (EPA) para la clasificación de agua potable.

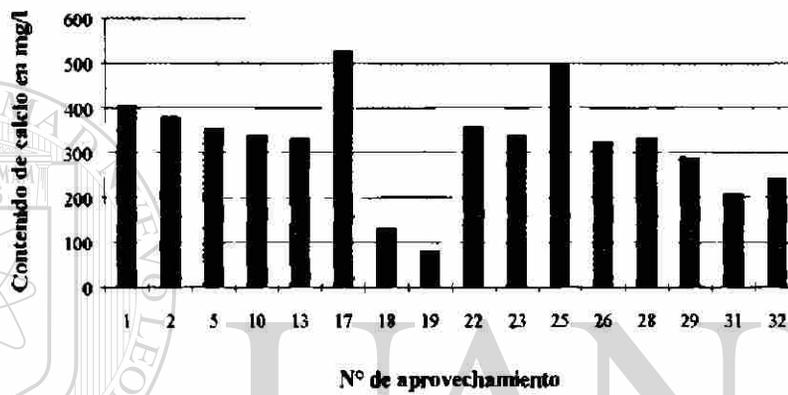
### **Calcio (Ca)**

El agua subterránea que constituye el acuífero en estudio, presenta concentraciones de calcio que varían de 78 a 522 mg/l, las concentraciones de 128 y 78 mg/l, se registran en los aprovechamientos localizados en el lado sur de la cuenca, en los manantiales La Virgen y El Antrisco; las concentraciones con valores de 300 a 350 mg/l,

se presentan en los aprovechamientos situados al norte de la cuenca y en los manantiales con aguas termales situadas en el centro de la misma; referente a los aprovechamientos situados al poniente, se tienen concentraciones que fluctúan entre los 350 y 400 mg/l. En el plano N° 11, se aprecia la configuración de la concentración de calcio.

El límite máximo, que establece la Secretaría de salud, para el contenido de Calcio en agua de uso potable es de 500 mg/l, por lo que sólo el aprovechamiento N° 17 (pozo) no cumple con esta norma.

VARIACIÓN DE CALCIO



Gráfica N° 6. Variación en el contenido de calcio en los aprovechamientos del acuífero en estudio

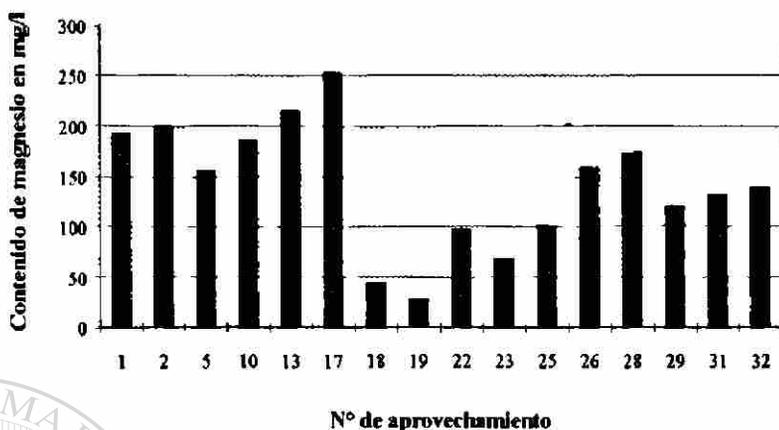
En general el agua subterránea que está en contacto con rocas sedimentarias de origen marino, obtiene la mayor parte de su contenido de calcio a partir de la disolución de la calcita, de la dolomita y del yeso entre otros. Los valores obtenidos en los análisis físico-químicos realizados, son representativos de concentraciones normales de estas formaciones.

### Magnesio (Mg)

Las concentraciones de magnesio varían de 28 a 250 mg/l, se aprecian tres grupos principales; el primero comprende los aprovechamientos (todos los manantiales) localizados en la parte central de la cuenca hasta las partes bajas de la Sierra La Azufrosa, los valores varían de 28 a 100 mg/l; el segundo grupo presenta concentraciones de 100 a 200 mg/l, la mayoría de los aprovechamientos forman parte de este grupo y se localizan en el oriente y el poniente de la cuenca; el grupo tres está compuesto de dos aprovechamientos, localizados en el noroeste, los cuales registran concentraciones de 213

y 251 mg/l respectivamente. La configuración de las concentraciones de este ion se presenta en el plano N° 12.

#### VARIACIÓN DE MAGNESIO

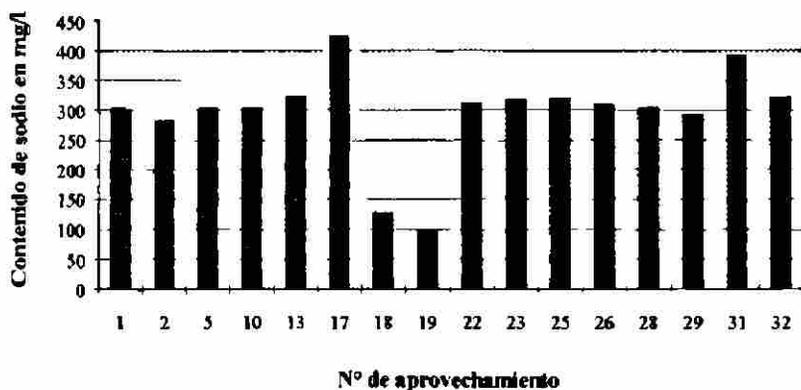


Gráfica N° 7. Variación en el contenido de magnesio en los aprovechamientos del acuífero en estudio

#### Sodio (Na)

Considerando el alto grado de solubilidad que presenta este ion, debido al ataque de feldespatos, feldespatoides y otros silicatos de lavado de sedimentos de origen marino y cambio de bases con arcillas del mismo origen, el sodio se encuentra en cantidades considerables en el agua subterránea, principalmente en cuencas localizadas en zonas desérticas por efecto de evaporación.

#### VARIACIÓN DE SODIO



Gráfica N° 8. Variación en el contenido de sodio en los aprovechamientos del acuífero en estudio

Generalmente las aguas que contienen un total de sólidos disueltos entre 1000 a 5000 mg/l, presentan concentraciones mayores a 100 mg/l de sodio; en el presente trabajo, la variación de sólidos totales fluctúa entre 1000 y 4000 mg/l, por lo que se tienen concentraciones de sodio que varían de 125 a 420 mg/l. El aprovechamiento que registra una concentración mínima de este ion, es el manantial El Antrisco con un valor de 95 mg/l, y el que presenta una concentración máxima es el pozo localizado en el rancho Santa Herminia, al norte de la cuenca, con un valor de 420 mg/l, los demás aprovechamientos tienen concentraciones que varían entre los 250 y 350 mg/l. La configuración de la concentración de sodio en el acuífero, se presenta en el plano N° 13.

La Secretaría de Salud establece como límite máximo, para este ión, en agua de uso potable el valor de 200 mg/l, por lo que sólo los manantiales de La Virgen y El Antrisco cumplen con esta norma.

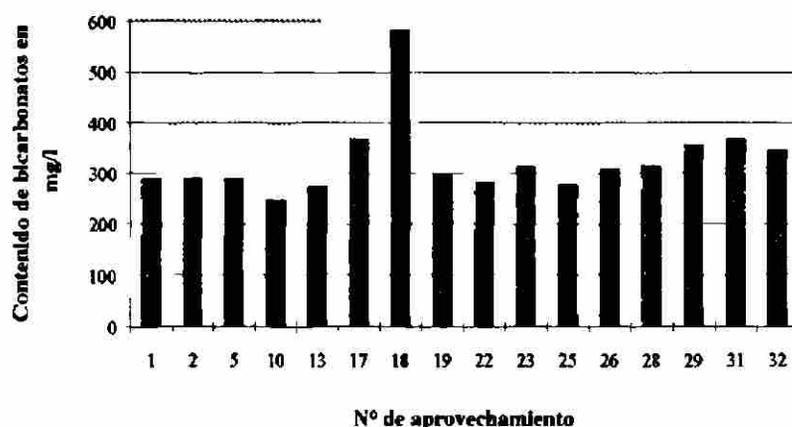
### **Bicarbonatos ( $\text{HCO}_3$ )**

Generalmente, los iones bicarbonato, tienen su origen en la disolución del bióxido de carbono atmosférico o del suelo y de la disolución de las rocas calizas y dolomías, ayudada por el  $\text{CO}_2$  y los ácidos naturales. En otros casos, la hidrólisis de silicatos en combinación con el  $\text{CO}_2$  contribuye a determinar el contenido de bicarbonato y carbonato.

Las aguas subterráneas generalmente contienen más de 10 mg/l de bicarbonato y menos de 800 mg/l, las concentraciones más frecuentes suelen estar comprendidas entre 50 y 400 mg/l; en el presente estudio, los valores registrados varían de 244 a 365 mg/l, por lo cual se considera que se tienen valores normales de concentración.

En el plano N° 14, se pueden apreciar dos grupos principales de aprovechamientos que presentan igual concentración de iones bicarbonato, el primero está compuesto por los aprovechamientos localizados al norte y noreste de la cuenca, en las partes bajas de las sierras El Maneadero y El Colorado, con una concentración que fluctúa entre los 300 y 365 mg/l; el otro grupo está constituido por los demás aprovechamientos, en los cuales las concentraciones son menores y varían de 244 a 300 mg/l.

### VARIACIÓN DE BICARBONATOS



Gráfica N° 9. Variación en el contenido de bicarbonatos en los aprovechamientos del acuífero en estudio

En el manantial denominado La Virgen, ubicado al suroeste de la cuenca, en la parte baja de la sierra La Azufrosa, se obtuvo un valor alto de concentración de bicarbonatos de 580 mg/l; por lo que se infiere que este valor corresponde al grado de contaminación y al tiempo de aereación (no tiene obra de protección) que tenía el agua del manantial, por lo que se estableció que no era representativo de dicho aprovechamiento.

La Norma Oficial Mexicana, expedida por al Secretaria de Salud, establece un límite máximo para el contenido de bicarbonatos, en agua de uso potable, de 500 mg/l, por lo que los aprovechamientos muestreados cumplen con esta norma.

### Cloruros (Cl)

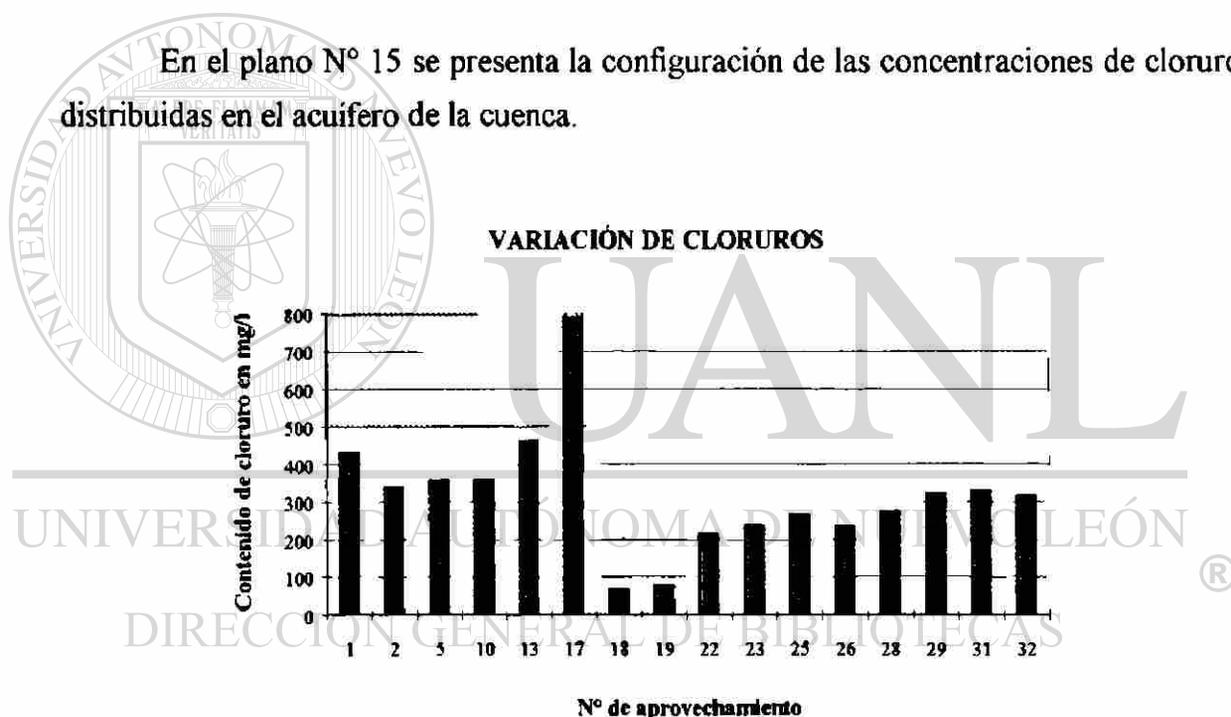
Estos iones son de los constituyentes más importantes de las aguas naturales, tanto superficiales como subterráneas. En la naturaleza pueden encontrarse concentraciones que van desde 0.1 mg/l en regiones árticas, hasta 150,000 mg/l, en salmueras. En general, el agua de lluvia y nieve presentan concentraciones de 1.0 y 30 mg/l.

En el presente estudio, los aprovechamientos muestreados registraron una variación en las concentraciones de cloruro que van de 65 a 459 mg/l, las concentraciones menores se observaron en los manantiales de La Virgen y El Antrisco con valores de 65 y

75 mg/l respectivamente, dichos aprovechamientos se localizan en el lado sur de la cuenca en las partes bajas de la sierra La Azufrosa; las concentraciones de 200 a 300 mg/l se registran en los aprovechamientos (manantiales y pozos) ubicados en la parte central y norte de la cuenca. Los pozos ubicados hacia el noreste, en la parte baja, entre las sierras de La Azufrosa y El Colorado presentan concentraciones que varían muy poco, de 315 a 325 mg/l; respecto a las concentraciones mayores, estas se presentan en los aprovechamientos ubicados en el noroeste, donde los valores van de 336 a 459 mg/l.

Los manantiales La Virgen, El Antrisco, La Azufrosa y San Joaquín cumplen con el límite máximo permitido por la Secretaría de Salud, para un agua de uso potable, la cual establece el valor de 250 mg/l.

En el plano N° 15 se presenta la configuración de las concentraciones de cloruro, distribuidas en el acuífero de la cuenca.



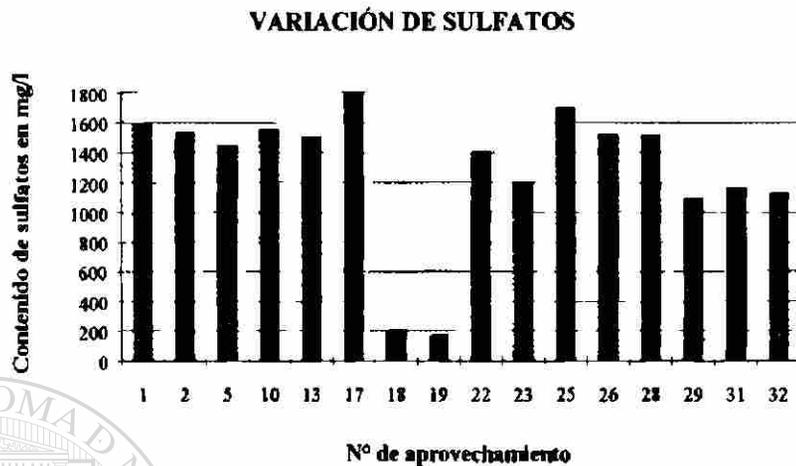
Gráfica N° 10. Variación en el contenido de cloruros en los aprovechamientos del acuífero en estudio

### Sulfatos (SO<sub>4</sub>)

Respecto a este ión, las fuentes principales son las rocas sedimentarias, en especial las evaporitas y en menor grado las rocas ígneas, a través de los minerales.

En general, el agua de lluvia contiene pequeñas concentraciones de sulfatos, los valores comunes fluctúan entre los 2 mg/l. En la naturaleza pueden encontrarse aguas, con concentraciones de sulfato que van de 0.2 mg/l hasta más de 100,000 mg/l, las

concentraciones más bajas se encuentran en las aguas de lluvia, de nieve y del suelo, sometidas a la reducción de los sulfatos; las concentraciones más elevadas se localizan en las salmueras de sulfato de magnesio.



Gráfica N° 11. Variación en el contenido de sulfatos en los aprovechamientos del acuífero en estudio

En el plano N° 16 se puede apreciar que las concentraciones de sulfatos, en la cuenca en estudio, varían de 160 a 1700 mg/l, la mayor concentración se localiza al noroeste de la misma, con valores de 1400 a 1700 mg/l, los valores mínimos se registran en los manantiales del Antrisco y de La Virgen, localizados en las partes bajas de la sierra La Azufrosa, los valores son de 160 y 200 mg/l respectivamente; las concentraciones de 1000 a 1400 mg/l se registran en los aprovechamientos localizados en el centro y noreste de la cuenca. Los valores máximos se ubican en los aprovechamientos situados en la parte norte, en las partes bajas de la sierra El Maneadero, los valores van de 1500 a 1800 mg/l.

El valor máximo de concentración de sulfatos que establece la Secretaría de Salud para un agua de uso potable es de 400 mg/l, por lo que solo los manantiales de La Virgen y El Antrisco cumplen con este límite permisible.

### Otros Indices

Para tener una mejor interpretación del comportamiento del acuífero, se procedió a determinar algunos parámetros adicionales a los iones mayoritarios, de forma que se obtuviera la mayor cantidad de información referente a la calidad del agua subterránea

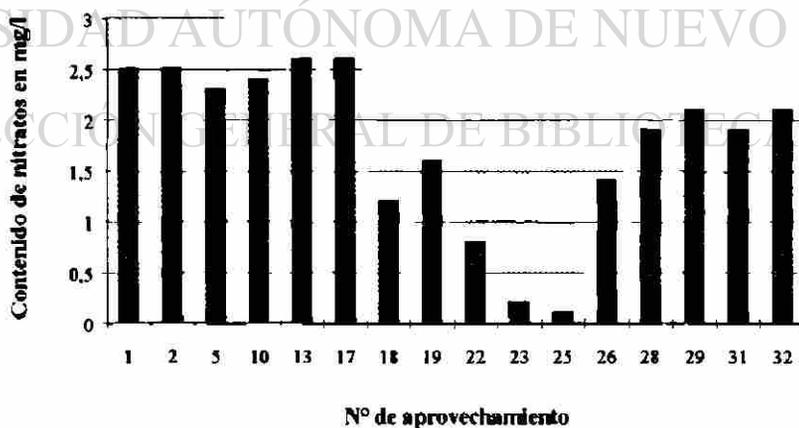
que permitiera una mejor caracterización de la misma. A continuación se mencionan los índices adicionales determinados.

### Nitratos ( $\text{NO}_3$ )

La determinación de la concentración de nitratos indica la condición nutriente y nivel de contaminación orgánica que guarda el agua subterránea, considerando que las principales fuentes de concentración del nitrato son las rocas ígneas, restos de animales y plantas y aplicación de fertilizantes realizados a partir de nitratos inorgánicos; en zonas rurales, cuando se tienen altas concentraciones de nitrato, se juzga que existen grandes descargas de excreta humana y animal.

El valor máximo permitido que recomienda la Secretaría de Salud y la Organización Mundial de la Salud (WHO) para agua potable es de 10 mg/l, y son un serio riesgo a la salud las concentraciones superiores a ese límite. Para el acuífero en estudio, se tienen concentraciones de nitratos muy pequeñas, las cuales oscilan entre los 0.5 y 2.5 mg/l, por lo cual el agua subterránea constituyente del acuífero en la cuenca de Paredón-Icamole, es potable, respecto a la concentración de nitratos.

#### VARIACIÓN DE NITRATOS



Gráfica N° 12. Variación en el contenido de nitratos en los aprovechamientos del acuífero en estudio

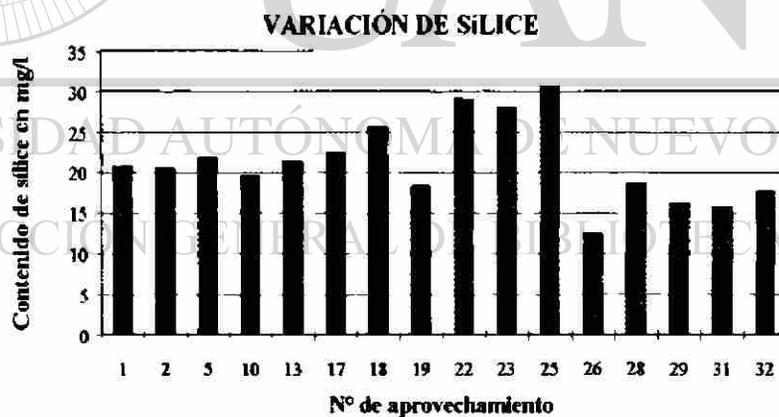
Los valores más altos de nitratos se presentan en los aprovechamientos localizados al norte de la cuenca, en las partes bajas de la sierra El Colorado y El Maneadero, los valores varían de 1.5 a 2.5 mg/l. Los valores mínimos registrados son de 0.1 a 0.8 mg/l y se presentan en los manantiales de La Azufrosa, San Joaquín y Las

Cuatas, estos manantiales se localizan en el centro de la cuenca; los valores medios de 1.2 y 1.6 mg/l se registran en los manantiales de La Virgen y El Antrisco respectivamente, ubicados al sur de la cuenca, en las partes bajas de la sierra La Azufrosa. En el plano N° 17 se presenta la configuración de las concentraciones de nitratos en el acuífero.

### Sílice (SiO<sub>2</sub>)

Este ion es común en las aguas subterráneas; se encuentra en estado coloidal, suspendido y disuelto; la principal fuente natural del sílice es la temperización de rocas silíceas que suele alcanzar valores de 1g/l o más, en aguas termales.

Para el acuífero en estudio, las concentraciones más altas de SiO<sub>2</sub> fueron registradas en los manantiales La Azufrosa, San Joaquín y Las Cuatas, los valores van de 28 a 30 mg/l, es importante mencionar que dos de estos manantiales son de aguas termales y el otro está localizado muy próximo a éstos, por lo que es normal que se registren estos valores altos de concentración. Los manantiales mencionados se ubican en el centro de la cuenca.



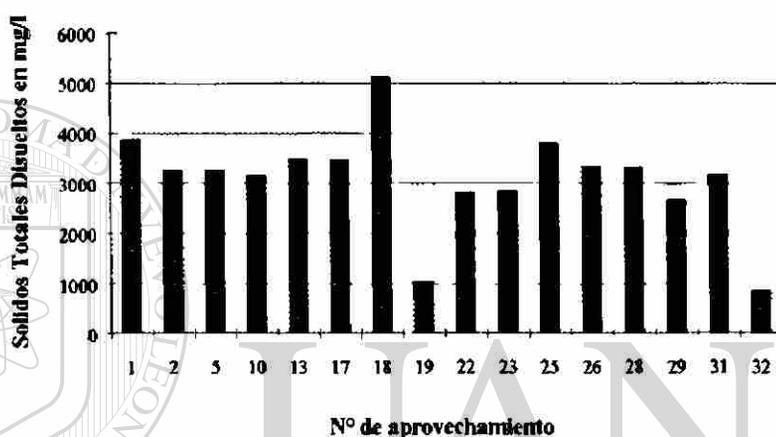
Gráfica N° 13. Variación en el contenido de sílice en los aprovechamientos del acuífero en estudio

Los aprovechamientos localizados al sur de la cuenca presentan valores de 18 a 25 mg/l, mientras los ubicados al norte registran concentraciones de 12 a 22 mg/l. En el plano N° 18 se presenta la configuración correspondiente a las concentraciones de sílice en el acuífero.

## Sólidos Totales Disueltos (STD)

Este índice proporciona información acerca de la dirección del flujo y el grado de erosión que causa el movimiento del agua subterránea a las diferentes formaciones geológicas que constituyen al acuífero, ya que la materia disuelta consiste de limo, arcilla, partículas finas de material orgánico e inorgánico, compuestos solubles, plancton y otros microorganismos. Estas partículas oscilan en tamaño de 10 nm a 0.1 mm.

VARIACIÓN DE SOLIDOS TOTALES DISUELTOS



Gráfica N° 14. Variación en el contenido de STD en los aprovechamientos del acuífero en estudio

En el plano N° 19 se presenta la configuración de los valores de STD. La variación de concentraciones fluctúa entre los 1000 y 3500 mg/l en toda la cuenca; es importante mencionar que en los manantiales de La Virgen y de Las Cuatas, el primero localizado al suroeste y el otro en el centro de la cuenca, se registraron valores altos de 5110 y 3780 mg/l de STD respectivamente, lo cual se infiere que fue debido al grado de contaminación que presentaban dichos aprovechamientos al momento del muestreo.

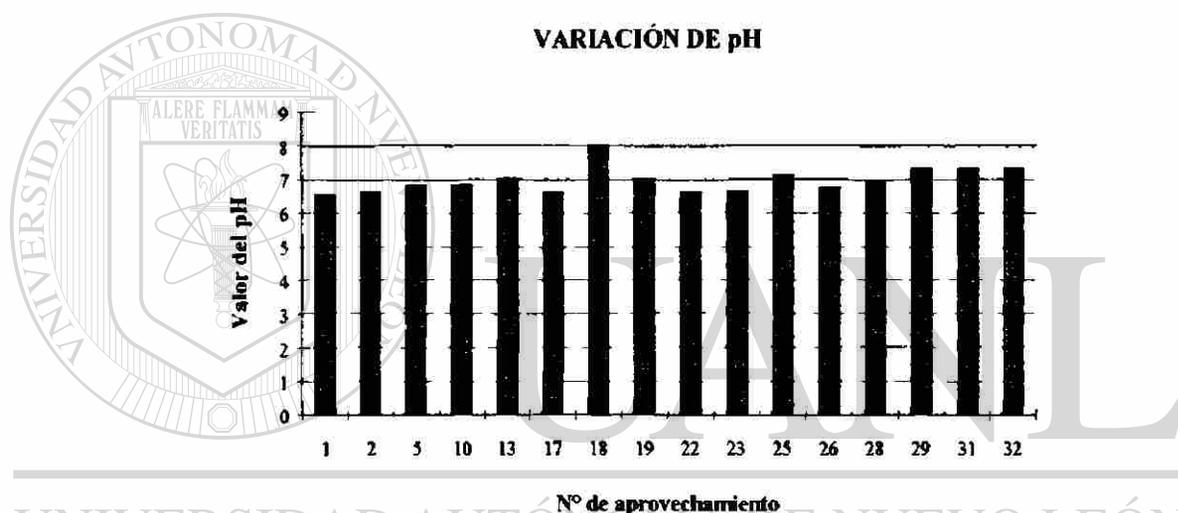
El valor de STD, que marca como máximo la Secretaría de Salud para un agua de uso potable es de 1000 mg/l, por lo que solo el aprovechamiento N° 32 (pozo El Milagro) con un valor de 850 mg/l cumple con esta norma.

Respecto al grado de erosión que origina el agua subterránea a las formaciones geológicas, puede calificarse como despreciable, esto sobre la base de que los equipos de bombeo localizados en los diferentes aprovechamientos no presentan ningún tipo de daño

originado por el desgaste de impulsores debido a la abrasión del agua subterránea que contiene partículas suspendidas.

### Potencial de Hidrógeno (pH)

El pH es un índice muy importante en el control de la calidad del agua subterránea, ya que tiene influencia directa sobre muchos de los procesos biológicos y químicos que se desarrollan en este medio; los valores más comunes oscilan entre 6.0 y 8.5; aunque pueden ocurrir valores menores en aguas en contacto con depósitos minerales, principalmente sulfuros; mientras que valores mayores se observan en aguas eutróficas.



Gráfica N° 15. Variación en el valor de pH en los aprovechamientos del acuífero en estudio

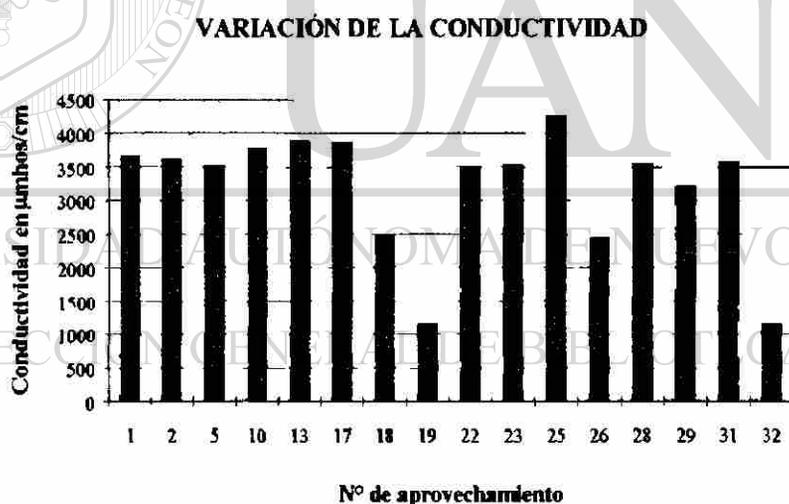
Los valores de pH que presenta el acuífero en estudio varían de 6.5 a 8, sabiendo que los valores mínimos se registran en los aprovechamientos localizados en el noroeste y centro de la cuenca, los valores varían de 6.5 a 6.9; en su mayoría, el acuífero presenta un pH entre 6.9 y 7.2 distribuido principalmente en el centro y norte del mismo, hacia el noreste se registran valores de 7.5. En el plano N° 20 se presenta la configuración de los valores de pH obtenidos.

Para el acuífero en estudio todos los aprovechamientos muestreados están dentro del rango establecidos por la Secretaría de Salud para agua de uso potable, la cual establece valores de pH en el rango de 6.5 y 8.5 como máximo.

## Conductividad

Debido a que la conductividad es una medida de la habilidad del agua para conducir electricidad, está íntimamente relacionada con la variación de los sólidos disueltos y depende más específicamente del grado de disociación de las sales minerales en iones, así como de la temperatura.

Los aprovechamientos localizados en el acuífero presentan valores de 1133 a 3850  $\mu\text{mhos/cm}$ , solamente hay un manantial (El Antrisco) y un pozo que registran valores de 1140 y 1133  $\mu\text{mhos}$  respectivamente, el primero de ellos se localiza al sur de la cuenca y el otro al noreste de la misma, los demás aprovechamientos tienen valores mayores a 3000  $\mu\text{mhos/cm}$ . Es importante mencionar que el manantial denominado Las Cuatas presenta un grado de contaminación muy alto, el cual se vio reflejado en el valor determinado de la conductividad con 4200  $\mu\text{mhos/cm}$ . La configuración de los valores de la conductividad en la cuenca, se presenta en el plano N° 21.



Gráfica N° 16. Variación en el valor de la conductividad en los aprovechamientos del acuífero en estudio

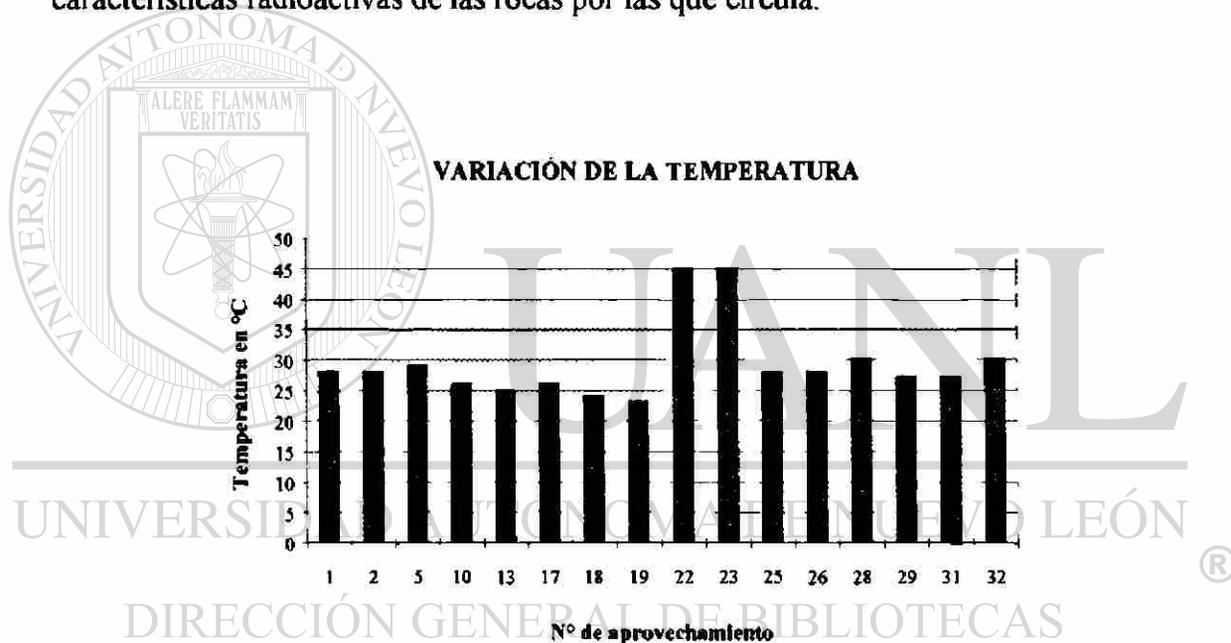
## Temperatura

Este índice participa en gran medida en el desarrollo de los procesos físicos, químicos y bacteriológicos presentes en el agua, tanto superficial como subterránea.

Las aguas subterráneas mantienen regularmente una temperatura casi constante que, para acuíferos poco profundos, es muy cercana a la temperatura promedio anual del

aire; sin embargo, acuíferos muy profundos tienen temperaturas mayores, debido al gradiente térmico de la tierra.

La variación de temperatura registrada en la mayoría de los aprovechamientos localizados en el acuífero en estudio fue de 23 a 30 °C. En los manantiales de La Virgen y El Antrisco se obtuvieron temperaturas mínimas de 24 y 23 °C respectivamente; mientras que en los manantiales de aguas termales, La Azufrosa y San Joaquín, localizados en el centro de la cuenca, se registró una temperatura alta de 45 °C. Se infiere que una de las posibles causas de la alta temperatura en los aprovechamientos de aguas azufrosas, puede ser el contacto del agua subterránea con cámaras magmáticas en proceso de enfriamiento, en combinación con la circulación de la misma a grandes profundidades y a las características radioactivas de las rocas por las que circula.



Gráfica N° 17. Variación en el valor de la temperatura en los aprovechamientos del acuífero en estudio

### 6.3 Interpretación Hidrogeoquímica

De acuerdo con los resultados de los análisis físico-químicos realizados a diferentes muestras obtenidas de captaciones de agua subterránea en el área de estudio y teniendo como antecedente, que el acuífero en estudio se localiza en formaciones sedimentarias de origen marino, y en particular en material granular, se infiere que las concentraciones de los diferentes iones mayoritarios se obtienen a partir de la circulación que tiene el agua subterránea por las formaciones mencionadas, quedando la

concentración restringida al tiempo de recorrido y al medio donde circula, ya sea granular o fracturado. Considerando lo anterior, el agua obtenida de los manantiales de El Antrisco y de La Virgen, localizados en las partes bajas de la Sierra La Azufrosa, tiene una infiltración reciente, en comparación con la que se extrae en los pozos ubicados en la planicie de la cuenca; por consiguiente, presenta una menor concentración de elementos químicos que la que se extrae en los demás aprovechamientos.

Mediante el análisis de la hidrogeoquímica, se estableció que la dirección preferencial del agua subterránea es de oeste a este, circulando principalmente por el norte de la cuenca en forma paralela a las sierras de El Maneadero y El Colorado, con dos componentes que se integran a la dirección del flujo, una componente de sur a norte originada por la recarga en las partes bajas de la sierra La Azufrosa en la zona donde se ubican los manantiales El Antrisco y La Virgen, y otra componente de sureste a noroeste, en la parte central de la cuenca donde se localizan los manantiales de aguas termales.

El acuífero presenta una posible recarga en la parte noroeste, donde se infiere una comunicación con el acuífero del valle de Paredón. Este planteamiento se basa en los valores altos de las concentraciones determinadas (de los iones), que son característicos de aguas con cierto grado de contaminación, lo que puede ser originado por la infiltración de las aguas residuales vertidas en la ciudad de Ramos Arizpe, y que son conducidas hasta la cuenca de Paredón e Icamole por el río la Encantada y después por el río Patos.

Mediante el análisis de la temperatura, con los valores registrados en los aprovechamientos, se infiere que es muy posible que exista una recarga vertical (proveniente de un acuífero perteneciente a otra cuenca diferente a la estudiada) a través de un medio fracturado, que permita la circulación del agua subterránea (a grandes profundidades) por rocas o capas magmáticas en proceso de enfriamiento, lo que contribuye a tener elevadas temperaturas del agua, así como descargas constantes, por lo cual es importante considerar esta hipótesis para el planteamiento de una posible explotación futura del acuífero.

Respecto a los valores altos que se tienen de la salinidad, puede mencionarse que el acuífero presenta baja permeabilidad y transmisibilidad de las formaciones geológicas, a través de las cuales circula el agua subterránea, el flujo es lento, consecuentemente, el tiempo de contacto del agua con las formaciones geológicas es amplio, lo cual ocasiona

que la concentración de sólidos se incrementa notablemente. De acuerdo a lo anterior, el acuífero del área se consideraría de condiciones geohidrológicas bajas; lo importante de este análisis es que al comparar la suposición mencionada con lo que pasa realmente en la parte noroeste del acuífero, sería contradictorio, ya que los aprovechamientos (pozos) en esta área presentan un volumen de descarga considerable y una recarga muy rápida, esto sería una base para suponer que el acuífero cuenta con buenas características geohidrológicas para su explotación; por lo que, analizando las dos condiciones anteriores, se puede concluir que el acuífero en la parte norte y especialmente en la parte noroeste, presenta una posible recarga subterránea vertical y además se infiere que es a través de un medio fracturado, por lo cual dicha recarga es alimentada por un acuífero externo al estudiado.

#### **6.4 Diagrama de Schoeller**

Mediante el diagrama de Schoeller, se aprecia que la mayoría de las muestras de agua, presentan un similar comportamiento; por lo que son del mismo tipo, a excepción de los manantiales de El Antrisco y La Virgen, los cuales presentan concentraciones menores con relación a los demás aprovechamientos. Se puede concluir que la forma general del diagrama demuestra un dominio de los iones calcio y sulfato, y menores concentraciones de los iones cloruro y bicarbonato.

Considerando los límites máximos permisibles para un agua de uso potable establecidos por la Secretaría de Salud y la Agencia Protectora del Medio Ambiente (EPA), solo el manantial El Antrisco, localizado al sur de la cuenca, cumple con el límite establecido de 500 mg/l, por lo que no es recomendable consumir agua de los demás aprovechamientos localizados en la cuenca. En la figura N° 20 se muestra el diagrama de Schoeller.

#### **6.5 Clasificación del Agua Mediante el Diagrama de Piper**

Mediante la aplicación del diagrama de Piper, se apreció que en la mayoría de las muestras analizadas se obtuvo la clasificación de agua mixta-sulfatada, por lo que el agua subterránea que constituye el acuífero es de un solo tipo. Los aprovechamientos

identificados como manantiales El Anrisco y La Virgen, localizados en la parte sur de la cuenca, en las partes bajas de la sierra La Azufrosa, se clasifican como aguas del tipo Mixta-Bicarbonatada y Mixta-Mixta, respectivamente. En la figura N° 21 se presenta el diagrama de Piper y en la tabla N° 19, se muestra la clasificación obtenida mediante la aplicación de dicho diagrama.

No. de Muestra	No. y tipo de Aprovechamiento	Clasificación del agua (Piper)
1	1.- Pozo	Mixta-Sulfatada-Clorurada
2	2.- Pozo	Mixta-Sulfatada-Clorurada
3	5.- Pozo	Mixta-Sulfatada-Clorurada
4	10.- Pozo	Mixta-Sulfatada-Clorurada
5	13.- Pozo	Mixta-Sulfatada-Clorurada
6	17.- Pozo	Mixta-Sulfatada-Clorurada
7	18.- Manantial La Virgen	Mixta-Bicarbonatada-Calcica
8	19.- Manantial El Anrisco	Mixta-Mixta-Clorurada
9	22.- Manantial La Azufrosa	Mixta-Sulfatada-Clorurada
10	23.- Manantial San Joaquín	Mixta-Sulfatada-Clorurada
11	25.- Manantial Las Cuatas	Calcica-Sulfatada-Clorurada
12	26.- Pozo	Mixta-Sulfatada-Clorurada
13	28.- Pozo	Mixta-Sulfatada-Clorurada
14	29.- Pozo	Mixta-Sulfatada-Clorurada
15	31.- Pozo	Mixta-Sulfatada-Clorurada
16	32.- Pozo	Mixta-Sulfatada-Clorurada

Tabla N° 19. Clasificación del agua subterránea mediante el diagrama de Piper

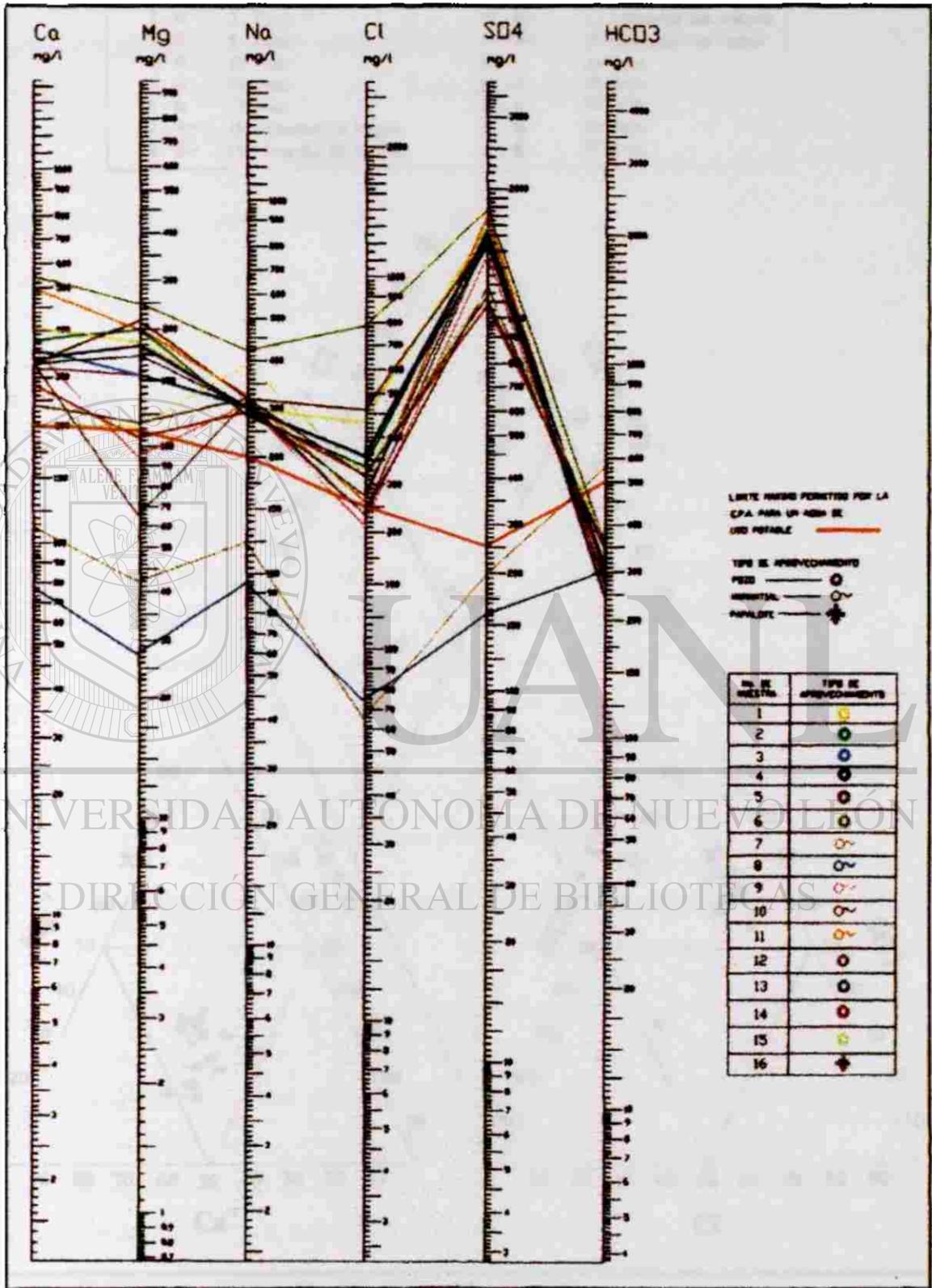


Figura N° 20. Diagrama de Schoeller

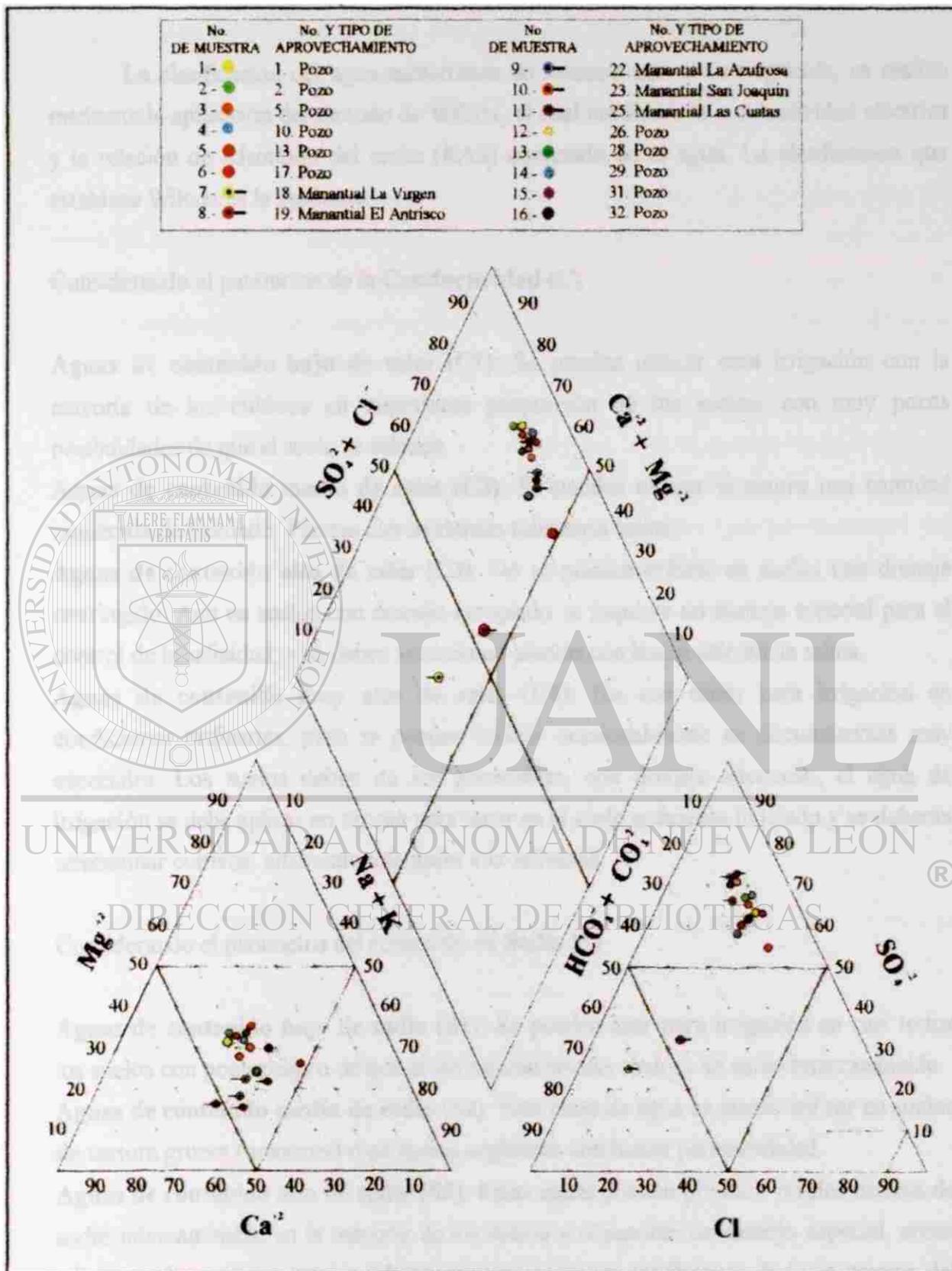


Figura N° 21. Clasificación de la calidad del agua subterránea mediante el uso del diagrama de Piper

## 6.6 Clasificación del Agua en Relación con el Uso Agrícola

La clasificación del agua subterránea en relación con el uso agrícola, se realizó mediante la aplicación del método de Wilcox, el cual considera la conductividad eléctrica y la relación de adsorción del sodio (RAS) contenido en el agua. La clasificación que establece Wilcox es la siguiente:

### Considerando el parámetro de la **Conductividad (C)**

**Aguas de contenido bajo de sales (C1):** Se pueden utilizar para irrigación con la mayoría de los cultivos en importante proporción de los suelos, con muy pocas posibilidades de que el suelo se salinice.

**Aguas de contenido medio de sales (C2):** Se pueden utilizar si ocurre una cantidad moderada de lixiviado. Plantas con moderada tolerancia salina.

**Aguas de contenido alto de sales (C3):** No se pueden utilizar en suelos con drenaje restringido. Aun en suelos con drenaje apropiado se requiere un manejo especial para el control de la salinidad, y se deben seleccionar plantas con buena tolerancia salina.

**Aguas de contenido muy alto de sales (C4):** No son útiles para irrigación en condiciones ordinarias, pero se pueden utilizar ocasionalmente en circunstancias muy especiales. Los suelos deben de ser permeables, con drenaje adecuado, el agua de irrigación se debe aplicar en exceso para tener en el suelo suficiente lixiviado y se deberán seleccionar cultivos altamente tolerantes a la salinidad.

### Considerando el parámetro del contenido de **Sodio (S)**

**Aguas de contenido bajo de sodio (S1):** Se pueden usar para irrigación en casi todos los suelos con poco peligro de que se produzcan niveles tóxicos de sodio intercambiable.

**Aguas de contenido medio de sodio (S2):** Esta clase de agua se puede utilizar en suelos de textura gruesa (arenosos) o en suelos orgánicos con buena permeabilidad.

**Aguas de contenido alto de sodio (S3):** Estas aguas pueden producir niveles tóxicos de sodio intercambiable en la mayoría de los suelos y requerirán un manejo especial, como adiciones de materia orgánica, abundante lixiviación en condiciones de buen drenaje del suelo. Algún mejorador químico se puede requerir para el remplazo del sodio adsorbido, pero el uso de los mejoradores puede no ser factible con aguas de muy alta salinidad.

**Aguas de contenido muy alto de sodio (S4):** No son satisfactorias para propósitos de irrigación, excepto en condiciones de salinidad baja o media, donde el contenido de calcio de la solución del suelo o la aplicación de yeso u otro mejorador químico pueda hacer factible el uso de estas aguas.

De acuerdo con el diagrama de Wilcox, se obtuvieron los siguientes tipos de aguas C4-S1 el cual corresponde a un alto contenido de sales, pero bajas en sodio, por lo que se recomiendan cultivos altamente resistentes a la salinidad; por otra parte, no se tendrán problemas con niveles altos de sodio intercambiable. Otra clasificación de agua fue C4-S2, el cual presenta las mismas características que el anterior en cuanto al problema de salinidad, pero referente al sodio, exige un mejor drenaje del suelo. Por ultimo la clasificación C3-S1, requiere un buen drenaje al igual que un manejo especial para el control de la salinidad, en este grupo de agua no se tienen riesgos de sodio intercambiable. En la tabla N° 20 se presentan los resultados que se obtuvieron del diagrama de Wilcox y en la figura N° 22 se muestra dicho diagrama.

No. de Muestra	No. y tipo de Aprovechamiento	Clasificación del agua (Wilcox)
1	1.- Pozo	C4-S1
2	2.- Pozo	C4-S1
3	5.- Pozo	C4-S1
4	10.- Pozo	C4-S1
5	13 - Pozo	C4-S1
6	17.- Pozo	C4-S2
7	18.- Manantial La Virgen	C4-S1
8	19.- Manantial El Antrisco	C3-S1
9	22.- Manantial La Azufrosa	C4-S2
10	23.- Manantial San Joaquin	C4-S2
11	25.- Manantial Las Cuatas	C4-S2
12	26 - Pozo	C4-S1
13	28.- Pozo	C4-S1
14	29.- Pozo	C4-S1
15	31.- Pozo	C4-S2
16	32.- Pozo	C3-S1

Tabla N° 20. Clasificación del agua subterránea con relación al uso agrícola

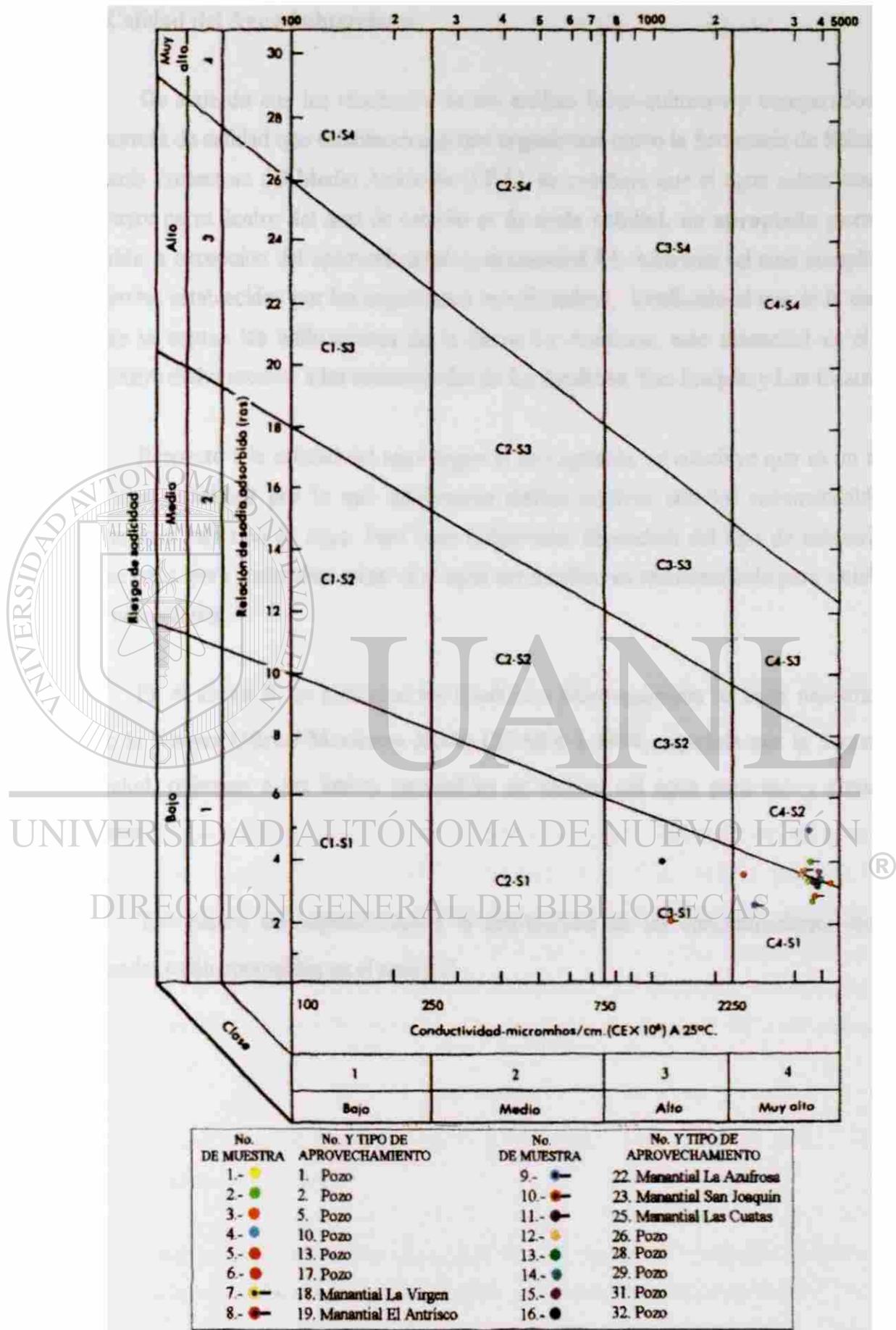


Figura N° 22. Clasificación del agua según uso agrícola, mediante el diagrama de Wilcox

## 6.7 Calidad del Agua Subterránea

De acuerdo con los resultados de los análisis físico-químicos y comparados con las normas de calidad que establecen algunos organismos como la Secretaría de Salud y la Agencia Protectora del Medio Ambiente (EPA), se concluye que el agua subterránea en su mayor parte dentro del área de estudio es de **mala calidad, no apropiada para uso potable**, a excepción del aprovechamiento, **manantial EL Antrisco** (el cual cumple con los límites establecidos por los organismos mencionados), localizado al sur de la cuenca donde se captan las infiltraciones de la sierra La Azufrosa, este manantial es el que suministra dicho recurso a las comunidades de La Azufrosa, San Joaquín y Las Cuatas.

Respecto a la calidad del agua según el uso agrícola, se concluye que es un **agua con alta salinidad** por lo que únicamente ciertos cultivos son los recomendables y tolerantes a este tipo de agua. Para fines industriales dependerá del tipo de industria de que se trate, para poder dictaminar si el agua del acuífero es recomendable para satisfacer esas necesidades.

En el anexo B, se presentan los resultados físico-químicos de cada muestra, así como la **Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA-1-1994**, expedida por la Secretaría de Salud, referente a los límites permisibles de calidad del agua para uso y consumo humano.

Los planos correspondientes a la distribución de las concentraciones iónicas analizadas están contenidos en el anexo C.

## 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 7.1 Conclusiones

Mediante los resultados obtenidos en el presente trabajo se concluye lo siguiente:

- 1.- El coeficiente de escurrimiento que rige a la cuenca en estudio, varía de 1.5 % a 2.5 %, predominando en la misma el tipo de vegetación halofila (55.4 % matorral, 43.3 % chaparral y 1.3 % agricultura).
- 2.- La litología que conforma la superficie del terreno en la cuenca de Paredón-Icamole está constituida por los siguientes materiales: 48.3 % de lutita-arenisca, 7.9 % conglomerado y 43.8 % aluvión. Las estructuras que forman el parteaguas de la cuenca tienen una orientación este-oeste.
- 3.- La estructura geológica que forma a la cuenca de Paredón-Icamole es un anticlinal erosionado constituido por lutitas y areniscas del Grupo Difunta, originado en el Cretácico Superior.
- 4.- El acuífero se clasificó como semiconfinado (a excepción del lecho del río Salinas el cual funciona como acuífero libre) y se desarrolla en la unidad hidrogeológica compuesta por depósitos aluviales (arenas y gravas, edad geológica del Cuaternario) y en la zona de alteración de las rocas sedimentarias de un delta progradante que lo subyacen. De acuerdo con los estudios realizados, los espesores aproximados del aluvión, son del orden de 20 m en la parte este de la cuenca y de 40 a 60 m hacia el centro y oeste.
- 5.- La dirección preferencial del flujo subterráneo es de oeste a este, con una componente de sur a noreste.
- 6.- Los abatimientos medios anuales registrados en el período analizado fluctúan entre 0.70 y 1.0 m, dependiendo de la concentración de aprovechamientos en el área.

7.- La descarga anual total aproximada del acuífero, a través de los aprovechamientos registrados es de 12.927 mill m<sup>3</sup>, de los cuales 12.503 mill m<sup>3</sup> corresponden a 16 pozos, 409 960 m<sup>3</sup> a 6 manantiales y 14 040 m<sup>3</sup> a 2 papalotes.

8.- La recarga anual total estimada del acuífero es de 12.70 mill m<sup>3</sup>, compuesta por 9.14 mill m<sup>3</sup> originados por la infiltración de escurrimientos superficiales y 3.56 mill m<sup>3</sup> por flujo subterráneo.

9.- La recarga del acuífero presenta tres probables orígenes: uno debido a la infiltración reciente de escurrimientos superficiales en un medio granular y fracturado (manantiales en las partes bajas de las sierras y lecho del río Salinas), otro por medio del flujo subterráneo mediante el contacto con otra cuenca subterránea (flujo horizontal y vertical) y el último por medio de la circulación de agua subterránea, a temperaturas y presiones muy altas, cerca de alguna capa magmática (cuerpo intrusivo).

10.- La principal área de recarga del acuífero se localiza en el lecho del río Salinas, mediante el cual se genera una infiltración del escurrimiento superficial, principalmente en época de lluvia (meses de mayo y septiembre).

11.- El acuífero se encuentra en equilibrio, con probabilidades de localizar nuevos aprovechamientos para su explotación; pero garantizando una política de extracción que no afecte en gran medida las condiciones actuales del mismo.

12.- De acuerdo con la clasificación según Piper, el agua que constituye al acuífero se clasifica como Mixta-Sulfatada-Clorurada en la mayoría de los aprovechamientos muestreados, a excepción de los manantiales El Antrisco y La Virgen; el primero presenta una clasificación de agua Mixta-Mixta-Clorurada y el segundo de Mixta-Bicarbonatada-Cálcica. Es importante mencionar que sólo un aprovechamiento (manantial El Antrisco) del total de los registrados, presenta valores menores de concentración de iones mayoritarios a los permitidos por la Secretaría de Salud (Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA-1-1996).

13.- Para la clasificación del agua de acuerdo al uso agrícola, mediante la aplicación del método de Wilcox, se determinó que 5 aprovechamientos de los 16 muestreados presentan una clasificación de C4-S2 (aguas de contenido muy alto de sales y de contenido medio de sodio) 10 aprovechamientos se clasifican como C4-S1 (aguas de contenido muy alto de sales y de contenido bajo de sodio) y sólo un aprovechamiento

presenta la clasificación de C3-S1 (aguas de contenido alto de sales y contenido bajo de sodio).

14.- El escurrimiento superficial que drena la cuenca de Predón e Icamole (río salinas) arrastra una gran cantidad de contaminantes provenientes de la cuenca adyacente (Saltillo-Paredón) debido al paso por varias ciudades del estado de Coahuila, las cuales contribuyen a incrementar el grado de contaminación de dicho escurrimiento (entre ellas las ciudades de Saltillo y Ramos Arízpe). Esto se infiere que repercute en el alto contenido de sólidos totales disueltos registrados en el agua que constituye el acuífero, particularmente en la parte noroeste de la cuenca, (valores que van de 3000 a 3500 mg/l) lugar por donde el río Salinas inicia el drenado de la misma.

15.- En la mayor parte del valle, las aguas contienen cantidades de sodio que van de 250 a 350 mg/l, y de sulfatos de 160 a 1700 mg/l, la mayor concentración se registra en los aprovechamientos situados al noreste de la cuenca y los valores mínimos en los manantiales de El Antrisco y La Virgen (160 y 200 mg/l respectivamente).

16.- La variación de temperatura registrada en la mayoría de los aprovechamientos muestreados fue de 23 a 30 °C, los valores máximos se registraron en los manantiales de la Azufrosa y San Joaquín, los cuales fluctúan entre 40 y 45° C.

---

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

## 7.2 Recomendaciones

### DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

a).- Hacer del conocimiento de los habitantes de las rancherías localizadas en la cuenca de Predón e Icamole, la información recopilada referente a la calidad del agua que guarda el acuífero, que satisface las necesidades de dichas poblaciones (uso doméstico, agrícola y ganadero), esto con el fin de prevenir el uso inadecuado del agua en dichas actividades, considerando que el agua es potable en un sólo aprovechamiento (manantial de El Antrisco) localizado al sur de la cuenca.

b).- Es necesario realizar la construcción de un depósito que almacene temporalmente los escurrimientos generados por los manantiales de La Azufrosa, Las Cuatas y el de San Joaquín, el cual permita efectuar un tratamiento de saneamiento del agua para después emplearla en el riego de cultivos.

c).- Continuar con la medición de los niveles estáticos y dinámicos de los aprovechamientos registrados en la cuenca, por lo menos cada seis meses, con el fin de aumentar la información que permita un planteamiento de parámetros que justifiquen una explotación adecuada y una propuesta bien definida de la localización de nuevos aprovechamientos.

d).- Se deberá considerar la información que se genere mediante pruebas de bombeo y de aforo que en un futuro se realicen, lo mismo que la perforación de nuevos aprovechamientos en la cuenca, lo que obligará a realizar trabajos de nivelación para las cotas topográficas de los brocales que no cuenten con ella, los cuales pudiesen incorporarse a un próximo estudio más detallado del acuífero.

e).- Realizar estudios de investigación con el suficiente detalle que permitan obtener resultados actualizados de los que se integran en el presente trabajo, lo cual podrá dar líneas generales para la modelación del acuífero y establecer políticas de extracción durante los periodos subsecuentes.

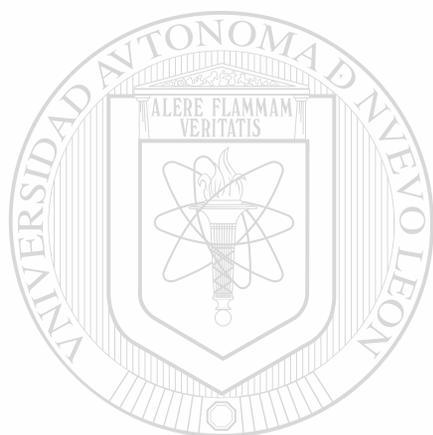
f).- Efectuar un estudio de la calidad del agua del escurrimiento del río Patos, a la salida de la ciudad de Saltillo y de Ramos Arízpe (estado de Coahuila) y otro a la salida de la cuenca de Paredón-Icamole (estado de Nuevo León) para conocer la proporción de los contaminantes que se pierden durante el recorrido del escurrimiento a través de la región, de forma que se pueda estimar el grado de contaminación que afecta dicho escurrimiento a la calidad del agua que constituye el acuífero, no sólo en la cuenca de Paredón e Icamole si no también en la cuenca de Saltillo-Paredón. Esto permitirá plantear nuevos parámetros para la remediación (si es el caso) del acuífero.

g).- Realizar un estudio más específico y detallado de las formaciones geológicas que se infiere están correlacionadas con la posible recarga vertical del acuífero, mediante una falla regional localizada en la parte norte de la cuenca y que se cree tiene una influencia, en escala regional, en el comportamiento del agua subterránea.

h).- Es justo y necesario, que los campesinos y los agricultores de la cuenca de Paredón e Icamole conozcan con detalle el grado de explotación que se tiene del acuífero, para lo cual se recomienda, una vez enterada la Comisión Nacional del Agua (CNA) de los resultados del presente trabajo, que este organismo, en su carácter de autoridad legislativa, referente a los derechos y usos del agua, realice actividades que tengan como

fin informar y concientizar a los usuarios acerca del comportamiento hidráulico del acuífero, qué tiene actualmente y qué se espera que tenga en años subsecuentes.

i).- Considerando la clasificación del agua, para uso agrícola, mediante el método de Wilcox, es recomendable seleccionar cultivos que de acuerdo con la clasificación que constituye el agua del acuífero, sean resistentes a la salinidad y se apliquen en las áreas localizadas al oeste y noroeste de la cuenca en donde predominan los suelos con buen drenaje.



# UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

## BIBLIOGRAFIA

**AIH-AGM-CNA.** 1994. "El Agua Subterránea en el Desarrollo Sostenible". Memorias del Congreso Internacional de Hidrogeología. Veracruz, Ver.

**ALHSUD.** 1996. "Memorias del 3er. Congreso Latinoamericano de Hidrología Subterránea". UNAM-UASLP. México, D. F.

**AMBIO.** 1988. El Agua. Ed. Blume S. A. Barcelona, España.

**Anderson II B. D. y Aguilera V. M.** 1985. Push Faults, a Conceptual Model for Groundwater Exploration in the Sierra Madre Oriental Foreland, México. Zbl. Geol. Paläon. Teil I, Stuttgart.

**Aparicio M. J.** 1993. Fundamentos de Hidrología de Superficie. Ed. Limusa Noriega Editores, 2ª Reimpresión, México, D. F.

**Campos A. D.** 1992. Procesos del Ciclo Hidrológico. Ed. Universitaria Potosina, 2ª Reimpresión, S. L. P.

**CASSA, Consultores en Agua Subterránea S. A.** 1981. "Estudio Hidrogeológico en el municipio de Villa de García, N. L.". Gobierno del Estado de Nuevo León, México.

**CNA, Gerencias Estatales de Nuevo León y de Coahuila.** 1955-1996. "Información de Estaciones Climatológicas Localizadas en los dos Estados". Banco de datos de Temperatura, Precipitación y Evaporación.

**CFE-GEIC, Hidrometeorología.** 1996. Boletines Meteorológicos correspondientes a los meses de enero, mayo, septiembre y noviembre de 1996, en el noreste de México. México D. F.

**Cochran W. y Fenner P.** 1980. Geo-Escritura, una guía para escribir, editar e imprimir en las Ciencias de la Tierra. 1ª Edición en español, editado por CFE, por cortesía de American Geological Institute. México, D. F.

**Conde R. R. y Palacios B. F.** 1995. Apuntes de Hidrología Urbana. Editado por el IIC de la UANL. Monterrey, N. L.

**Cuevas L. Antonio.** 1988. "Análisis de Subsistencia e Historia Térmica en la Cuenca de Sabinas". Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros, volumen XXXVI, N° 2. México D. F.

**Custodio J. E. y Llamas R.** 1976. Hidrología Subterránea. Tomo I y II, Ed. Omega Barcelona, España.

**Chavez G. R.** 1992. "La Contaminación de las Aguas Subterráneas". Apuntes del IV Curso Internacional de Geohidrología y Contaminación de acuíferos, FI-UNAM, México, D. F.

**Davis S. N. y de Wiest R.** 1971. Hidrogeología. Ed. Ariel, Barcelona, España.

**Danell S. J.** 1998. "El Costo de la Sequía". Artículo de la revista Expansión, p. 110-113, México, D. F.

**Gary G. G. y Chris A. J.** 1995. "Structural and Tectonic Evolution of the Sierra Madre Oriental, whit emphasis on the Saltillo-Monterrey Corridor". Memorias de la Convención Anual de la Asociación Americana de Geólogos Petroleros. Houston, TX.

**González G. R.** 1974. "Probabilidades de la Ocurrencia de la Lluvia Anual en el Noreste de México" Boletín de la División de Ciencias Agropecuarias y Marítimas del ITESM. Monterrey, N. L.

**FI-UNAM.** 1972. Introducción a la Fotointerpretación. Ed. Universitaria, 1ª Impresión, México, D. F.

**INEGI.** 1992. Guía para la Interpretación de Cartografía Geológica. Ed. INEGI, 2ª Edición, México, D. F.

**INEGI.** 1976-1986. "Cartas de Topografía, Hidrología Superficial, Geología, Edafología, Uso de Suelo, de Agua Subterránea y Síntesis Geográfica del Estado de Nuevo León". Ed. INEGI, México, D. F.

**INSISA.** 1972. "Estudio Geohidrológico del Estado de Nuevo León". Informe existente en el Instituto de Ing. Civil U.A.N.L. Tomo V. Monterrey, N. L.

**ITESM.** 1985. "Aprovechamiento de Aguas Subterráneas en la Agricultura". Memorias del ciclo Internacional de Conferencias, ITESM-CONACYT, Monterrey, N. L.

**Krynine P. D. y Judd R. W.** 1961. Principles of Engineering Geology and Geotechnics. Ed. McGraw-Hill Book Company, New York, N. Y.

**Ojeda C. A.** 1994. Explotación Futura del Acuífero de Caborca Sonora. Tesis Mtría. En el IIC de la U.A.N.L. Monterrey, N. L.

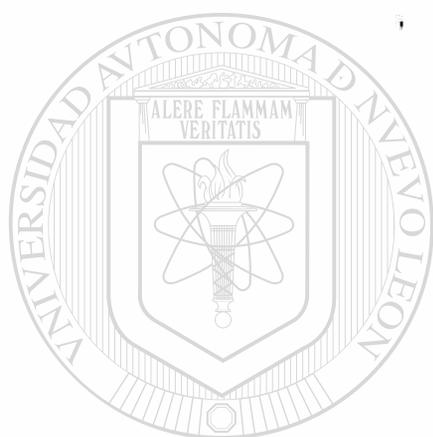
**Orellana S. E.** 1967. Diccionario de Ciencias de la Tierra. Ed. Blume, Madrid, España.

**Ortiz A. R.** 1996. Glosario Geohidrológico. Ed. Universitaria Potosina, S. L. P.

**Padilla H. y Sánchez M.** 1982. The Sierra Madre Oriental between Linares, Concepcion del Oro, Saltillo and Monterrey Mexico. 217 pp. Doct. Diss, The Univ. of Texas, Austin Tx.

**Pearl M. R.** 1977. Geología. Ed. CECSA, 7ª Impresión, México, D. F.

- PPH S. A.** 1995. "Perforación en Gravas y Arenas". Apuntes de Perforación. Guanajuato, México.
- Raudel A.** 1979. Geología. Ed. Montaner y Simón, S. A., 1ª Reimpresión en español, Barcelona, España.
- Rodríguez M. J. M.** 1992. "Características hidrogeoquímicas del acuífero conglomerado Sabinas-Reynosa en la parte noreste del estado de Coahuila". Artículo de la revista Geomet, México, D. F.
- Rodríguez M. J. M.** 1995. "Características hidrogeoquímicas regionales de los acuíferos en las formaciones Wilcox, Carrizos y Bigford en la Sub-Cuenca Colombia-San Ignacio, en los estados de Nuevo León y Tamaulipas". V Congreso Nacional de Geoquímica, sep. 18-22. Guanajuato, Gto.
- Romero A. H.** 1991. "Bases para un Programa de Saneamiento Rural". Apuntes del IV Curso Internacional de Geohidrología y Contaminación de acuíferos, FI-UNAM, México, D. F.
- Secretaría de Salud.** 1996. Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994. Ed. Diario Oficial de la Federación, 1ª Sección, México, D. F.
- Servicio de Conservación de Suelos, E. U. A.** 1972. Principios del Avenamiento o Drenaje. Ed. Diana, 1ª Impresión en español, México, D. F.
- Snoeyink L. V. y Jenkis D.** 1990. Química del Agua. Ed. Limusa, México, D. F.
- Tardy M., Longoria F. y Mitre M.** 1975. "Observaciones generales en la estructura de la Sierra Madre Oriental: La Aloctonia del conjunto Cadena Alta-Altiplano Central, entre Torreón, Coahuila y San Luis Potosí, S. L. P. México". Artículo de la revista del Inst. de Geol. UNAM, p. 1-11, México D. F.
- Walton C. W.** 1970. Groundwater Resource Evaluation. Ed. McGraw-Hill Book Company, New York, N. Y.



**ANEXOS**  
UANL

---

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

## **ANEXO A**

**\* ARTÍCULO DE LOS ANTECEDENTES DE LA PROBLEMÁTICA ALIMENTICIA, ORIGINADA POR EL PERÍODO DE SEQUÍA EN MEXICO**

**\* TABLAS DE RESULTADOS DE HIDROLOGÍA SUPERFICIAL**

**\* GRÁFICAS DE INTERPRETACIÓN DE PRUEBA DE BOMBEO**

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



**\* ARTÍCULO DE LOS ANTECEDENTES DE LA  
PROBLEMÁTICA ALIMENTICIA, ORIGINADA POR  
EL PERÍODO DE SEQUÍA EN MEXICO**

UANL

---

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

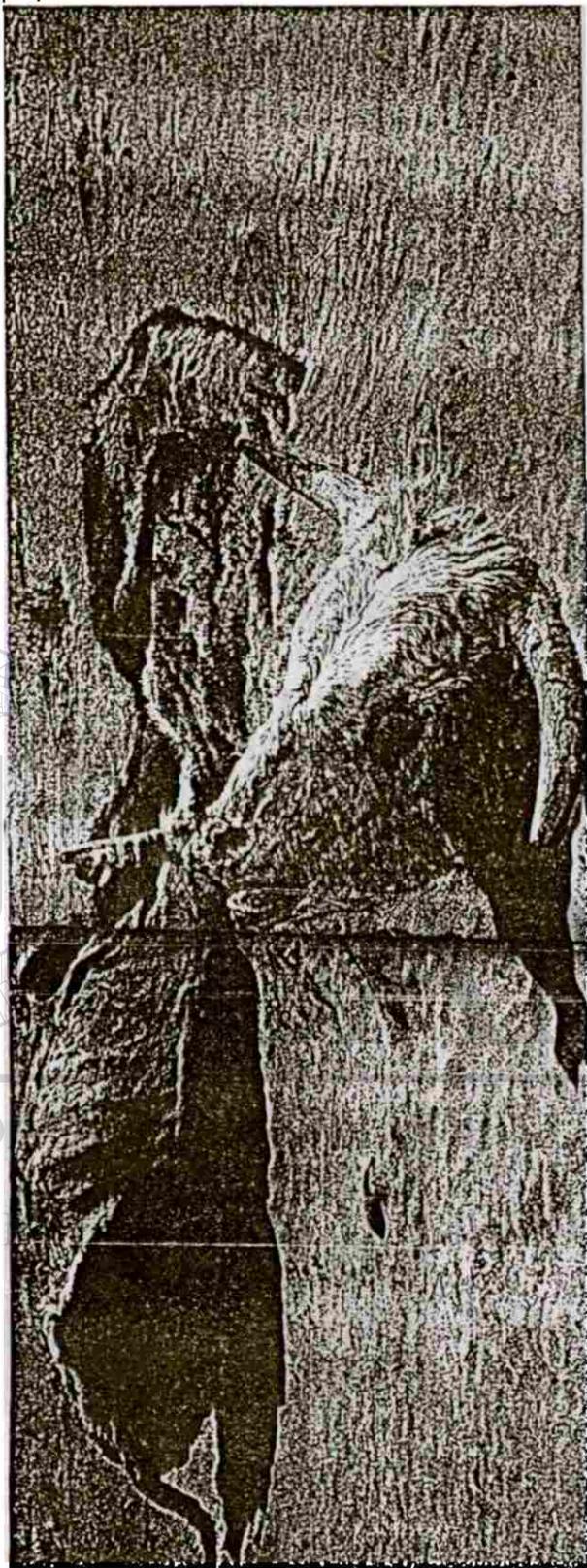
®

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

por Juan Danell Sanchez

# El costo de la sequía

Tras la larga sequía, el gobierno subsidiara con mas de \$600 millones de dolares la comercialización de alimentos para evitar que se disparen los precios al consumidor, mientras se regulara la producción del campo ¿Y despues?



co), se pretende garantizar el abasto y mantener invariables los precios de los principales alimentos básicos, como el maíz, el frijol, el pollo, el cerdo, el queso, el azúcar y el aceite. El secretario de Agricultura y Desarrollo Rural, Alfonso Arroyo Marroquín, al dar a conocer en los primeros días de mayo el anuncio del problema que representa la sequía.

Lo más duro y difícil esta prueba de los consumidores. Por ejemplo, la Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural (Sagar) estima que ha-

so de \$2 20 a \$2 60 por sqm, como parte de los efectos del fenómeno natural, eventos que se seguirán resolviendo en meses y habilitar. En la medida en que la magnitud del problema se presenta, una danza de cifras y estadísticas proporcionadas por autoridades y productores. Cada quien a sus intereses. Pero más allá de interrupciones, la

reducción acumuló el poder de compra de los consumidores. Así, por ejemplo, la Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural (Sagar) estima que ha-

La época de mayo la sequía ocasiona no daños a la agricultura que se traducen en una caída de 10% (2 2 millones de toneladas) en la producción de los dos granos más importantes para México: maíz y frijol. Esta caída es cuatro veces mayor que registró el año pasado el sector agrícola en su conjunto, por la falta de lluvias.

En el caso de la ganadería, la dependencia calcula que en los últimos cinco años acumuló un adelgazamiento de sus existencias de 30 %, en términos globales (lo que

significa alrededor de seis millones de resas)

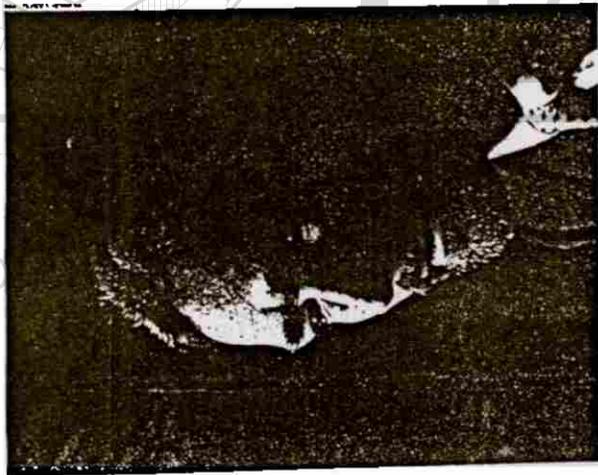
## SACRIFICIO OBLIGADO

Para los productores, la situación es otra. José Bonilla, dirigente de la Confederación Nacional de Productores Rurales (CNPOR), asegura que en el presente año la producción de granos registrará una de las caídas más severas de la historia, debido a que por falta de lluvias se dejó de sembrar más de un millón de hectáreas de maíz, que significan alrededor de cuatro millones de toneladas de este grano.

es decir, el doble de lo que estima la Sagar.

Información de la Confederación Nacional Ganadera CNT, precisa que sólo en 1998 que vio el año, diecinueve se vieron obligados a matar el ganado equivalente a 2 1 millones de resas. Básicamente se sacrificaron y se siguen enviando al matadero animales jóvenes y vacas, que son los que resisten menos la escasez de alimento.

Esto último significa que el hato nacional se redujo a poco menos de



**GURRIA:**  
En el sector  
ganadero, las  
importaciones  
son un factor  
de crecimiento  
y solidez  
productiva

18 millones de bovinos. Y aun no llueve en los principales estados ganaderos del norte del país, ni en el trópico húmedo, lo cual significa que los productores continuarán vendiendo sus animales antes de que se les mueran de inanición.

Comparado con la agricultura, en el sector ganadero el problema es más grave, porque mientras en los cultivos los ciclos productivos son de seis meses —los más largos, como el caso del maíz—, en la ganadería se requiere por lo menos de 18 meses para llevar el sacrificio a una res.

Caba mencionar que en el país se practican tres tipos de ganadería, en una superficie de 80 millones de hectáreas: extensiva, en estatos áridos y semáridos, como Chihuahua, Sonora, Durango, Coahuila y Nuevo León, donde una vaca requiere de hasta 60 hectáreas para alimentarse; pastoreo, en

ran". Considera que los ganaderos tendrán una gran ventaja, pues el maíz en el mercado internacional tiene un precio de \$95 dólares la tonelada, mientras que en México es de \$154 dólares.

Afirma que la única razón por la cual puede haber escasez de grano en el país es que se elevare el precio en el mercado internacional por encima de la cotización interna.

Esta tesis la apoya en el hecho de que el promedio histórico del valor del maíz en el ámbito mundial es de \$105 dólares la tonelada, y sólo una devaluación del peso podría invertir esa relación de precios entre el mercado externo y el interno.

Además, sostiene que el crecimiento de las importaciones no hace más vulnerable la soberanía de México, "al contrario, en el sector ganadero son un factor de crecimiento y solidez productiva, sobre todo porque permiten a los productores proveerse de alimentos baratos para sus animales".

Sin embargo, el subsecretario admite que 20% (más de 900,000 toneladas) del mercado nacional de carne de res está dominado por los derivados cárnicos que se importan fundamentalmente de Estados Unidos, "pero nuestros ganaderos han sabido vivir con eso y están haciendo las adecuaciones para poderlo contrarrestar", indicó.

El optimismo del funcionario se sustenta en la concepción de desarrollo globalizador, que, en resumen, urge a cambiar la mentalidad de la sociedad y las políticas económicas. Aunque hay que recordar que el mismo Gurria informó algunas veces que sólo 15% de la ganadería nacional está altamente tecnificada y tiene niveles de competitividad internacional, mientras 40% está en proceso de adquirir tecnologías más productivas y el restante 45% está rozagada.

No obstante la disparidad de esas cifras y que el hilo nacional —y por tanto la producción de carne— se desplomó 30% en los últimos cinco años como resultado del estancamiento del país, el funcionario destaca que el sector ganadero del país requiere un crecimiento anual de 2.2% desde 1990.

Pese a estas calamidades, insiste

en que la sequía permitirá al sector ganadero modernizarse, acortar los ciclos productivos a 18 meses y reducir los plazos para recuperar las inversiones de 20 a ocho o 10 años; además de que está activando la exportación de becerros: 670,000 becerros en seis meses, mientras que en todo 1997 fue de 465,000 animales.

### MENTRAS PASA LA SEQUÍA

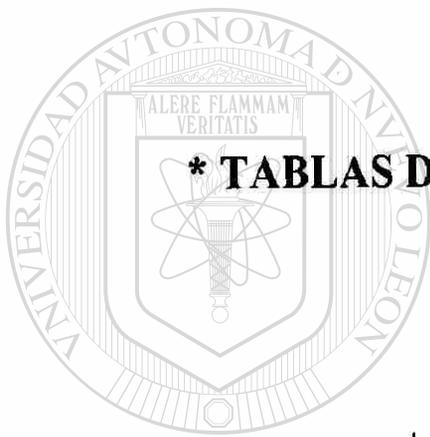
El gobierno federal, a través de la Sagar, subsidiará los granos (maíz, sorgo y trigo, fundamentalmente) que se utilizan en la producción de alimentos balanceados para el ganado, sólo mientras pasa la contingencia de la sequía, para detener la elevación de los precios de los productos pecuarios, leche, carnes y huevo, y con ello la inflación. Pero eso es sólo mientras se regulariza la producción agrícola, es decir, de cuatro a seis meses más. Después vendrá el juego del libre mercado, donde los precios de esos alimentos serán la oferta y la demanda lo que regule su valor comercial.

En este punto cabe señalar que, de acuerdo con investigaciones de la Asociación Mexicana de Estudios (Amedeci, en los últimos tres años el consumo de carne de res se ha contraído 35% debido a la pérdida del poder de compra de los salarios.

Con base en esas investigaciones se puede señalar que después de un periodo de sequía, los precios de los productos pecuarios tienden a elevarse, porque disminuye el número de reses en producción y, por tanto, la oferta de carne.

Para evitar que se dispare el precio de esos alimentos se tendrán que incrementar las importaciones en el mismo porcentaje en que disminuya la producción nacional.

Pero ello significa, también, un obstáculo para la recuperación de la producción interna, debido a que los ganaderos tendrán que competir en un mercado desigual, puesto que la carne que se compra en el exterior es más barata y el consumidor, ante la depresión de su poder de compra, sacrifica la calidad por el precio. □



**\* TABLAS DE RESULTADOS DE HIDROLOGÍA  
SUPERFICIAL**

UANL

---

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

## DETERMINACIÓN DE LA EVAPOTRANSPIRACION

### CUENCAS PAREDON-CAMOLE, CHUPADERO DEL INDIO Y CARRIZOS

Nº y Nombre de Cuenca	Precipitación media anual (mm)	Área de influencia (km <sup>2</sup> )	Temperatura media anual (°C)	Método de Turc		Vol. de ETR m <sup>3</sup>	Método de Coutage		Vol. de ETR m <sup>3</sup>	Vol. de lluvia m <sup>3</sup>
				(L)	ETR (mm)		(x)	ETR (m)		
Cuenca 1, Paredón-Icamole Est. Chupadero del Indio Est. Icamole	212	132.80	19.80	1183.120	190.800	25.338E+6	0.280	0.201	26.746E+6	28.154E+6
	205	38.50	20.90	1278.966	184.500	7.103E+6	0.268	0.195	7.498E+6	7.893E+6
Sumatoria										
Cuenca 2, Chup. del Indio Est. Chupadero del Indio Est. Icamole	212	127.70	19.80	1183.120	190.800	24.363E+6	0.280	0.201	25.719E+6	27.072E+6
	205	5.70	20.90	1278.966	184.500	1.052E+6	0.268	0.195	1.110E+6	1.169E+6
Sumatoria										
Cuenca 3, Carrizos Est. Icamole	205	82.60	20.90	1278.966	184.500	15.240E+6	0.268	0.195	16.086E+6	16.933E+6
	Sumatoria									
Sumatoria										16.933E+6

**Método de Turc:**

$$ETR = P / (0.9 + P^2 / L^2)^{1/2}$$

donde:

$$L = 300 + 25T + 0.05T^3$$

ETR = Evapotranspiración en mm.

P = Precipitación media anual en mm.

T = Temperatura media en °C

L = Coeficiente de corrección adimensional

**Método de Coutage:**

$$ETR = P - XP^2$$

donde:

$$X = 1 / 0.8 + 0.14 T$$

ETR = Evapotranspiración en m.

P = Precipitación media anual en m.

T = Temperatura media en °C

X = Coeficiente de corrección adimensional

## DETERMINACION DE LA EVAPOTRANSPIRACION

### CUENCA 4, SALTILLO-PAREDON

Nº y Nombre de la Estación	Precipitación media anual (mm)	Área de influencia (km <sup>2</sup> )	Temperatura media anual (°C)	Método de Turc		Vol. de ETR m <sup>3</sup>	Método de Coutage		Vol. de ETR m <sup>3</sup>	Vol. de lluvia m <sup>3</sup>
				(L)	ETR (mm)		(x)	ETR (m)		
1.- Carneros	400	284.70	15.40	867.613	379.227	107.966E+6	0.338	0.346	98.470E+6	113.880E+6
2.- Gral. Cepeda	359	723.20	18.80	1102.234	323.100	233.666E+6	0.291	0.359	259.369E+6	259.629E+6
3.- San Juan de la Vaquería	459	695.80	17.10	977.511	433.620	301.713E+6	0.313	0.393	273.476E+6	319.372E+6
4.- Huachichil	666	110.80	14.50	814.931	531.883	58.933E+6	0.353	0.509	56.427E+6	73.793E+6
5.- La Rosa	381	1895.90	17.50	1005.469	372.959	707.093E+6	0.308	0.381	721.616E+6	722.338E+6
6.- Saltillo	351	591.20	18.10	1048.987	348.919	206.281E+6	0.300	0.351	207.304E+6	207.511E+6
7.- Arteaga	336	305.90	17.10	977.511	332.992	101.862E+6	0.313	0.336	102.680E+6	102.782E+6
8.- Tunal	404	237.50	15.10	849.648	380.710	90.419E+6	0.343	0.348	82.647E+6	95.950E+6
9.- Jame	466	68.70	12.10	691.078	400.374	27.506E+6	0.401	0.379	26.032E+6	32.014E+6
10.- Ciénega de la Purísima	837	8.90	15.50	873.694	620.807	5.525E+6	0.337	0.601	5.350E+6	7.449E+6
11.- Ramos Anzpe	303	713.70	22.40	1421.971	272.700	194.626E+6	0.254	0.303	216.035E+6	216.251E+6
12.- Alto de Nomas	284	2214.50	18.80	1102.234	255.600	566.076E+6	0.291	0.284	628.289E+6	628.918E+6
13.- Chupadero del Indio	210	344.80	19.80	1183.120	189.000	65.167E+6	0.280	0.210	72.336E+6	72.408E+6
14.- Icamole	203	110.80	20.90	1278.966	182.700	20.243E+6	0.268	0.203	22.470E+6	22.492E+6
15.- Ejido Reata	232	640.90	20.30	1225.771	208.800	133.820E+6	0.275	0.232	148.540E+6	148.689E+6
16.- La Popa	244	158.70	20.90	1278.966	219.600	34.851E+6	0.268	0.244	38.684E+6	38.723E+6
17.- Santa Teresa	351	819.10	20.20	1217.120	315.900	258.754E+6	0.276	0.351	287.217E+6	287.504E+6
Sumatorias						3.114449E+9			3.246941E+9	3.349704E+9

**Método de Turc:**

$$ETR = P / (0.9 + P^2 / L^2)^{1/2}$$

donde:

$$L = 300 + 25T + 0.05T^3$$

**ETR = Evapotranspiración en mm.**

P = Precipitación media anual en mm.

T = Temperatura media en °C

L = Coeficiente de corrección adimensional

**Método de Coutage:**

$$ETR = P \cdot X^2$$

donde:

$$X = 1 / 0.8 + 0.14 T$$

**ETR = Evapotranspiración en m.**

P = Precipitación media anual en m.

T = Temperatura media en °C

X = Coeficiente de corrección adimensional

## GRUPOS HIDROLÓGICOS DE SUELOS

La clasificación de estos suelos es la propuesta por el U. S. Soil Conservation Service, la cual se basa en el potencial de escurrimiento del suelo, mediante la determinación del parámetro de la velocidad de infiltración.

**GRUPO A:** (Bajo potencial de escurrimiento). Suelo que tiene altas velocidades de infiltración cuando están mojados y consisten principalmente en arenas y gravas profundas, con bueno o excesivo drenaje. Estos suelos tienen altas velocidades de transmisión del agua.

**GRUPO B:** Suelos con moderadas velocidades de infiltración cuando están mojados y consisten principalmente de suelos con cantidades moderadas de texturas finas a gruesas, con drenaje medio y algo profundos. Son básicamente suelos arenosos.

**GRUPO C:** Suelos que tienen bajas velocidades de infiltración cuando están mojados, consisten principalmente en suelos que tienen un estrato que impide el flujo del agua, son suelos con texturas finas. Estos suelos tienen bajas velocidades de transmisión.

**GRUPO D:** (Alto potencial de escurrimiento). Suelos que tienen muy bajas velocidades de infiltración cuando están mojados y consisten principalmente de suelos arcillosos cerca de su superficie, o bien, suelos someros sobre horizontes impermeables. Estos suelos tienen muy bajas velocidades de infiltración del agua.

**NUMEROS N DE LA CURVA DE ESCURRIMIENTO PARA LOS COMPLEJOS  
HIDROLOGICOS SUELO-COBERTURA, EN ZONAS AGRICOLAS  
Y CUENCAS RURALES**

( Para cuencas en condición II e  $I_a = 0.25$  )

C O B E R T U R A			GRUPO HIDROLOGICO DE SUELOS			
USO DEL TERRENO	TRATAMIENTO O PRACTICA	CONDICION HIDROLOGICA				
			A	B	C	D
BARBECHO.	Surco recto	Pobre	77	86	91	94
CULTIVOS EN SURCO.	Surco recto	Pobre	72	81	88	91
	Surco recto	Buena	67	78	85	89
	Surco a nivel	Pobre	70	79	84	88
	Surco a nivel	Buena	65	75	82	86
	Surco a nivel y terraza	Pobre	66	74	80	82
	Surco a nivel y terraza	Buena	62	71	78	81
CEREALES FINOS.	Surco recto	Pobre	65	76	84	88
	Surco recto	Buena	63	76	83	87
	Surco a nivel	Pobre	63	74	82	85
	Surco a nivel	Buena	61	73	81	84
	Surco a nivel y terraza	Pobre	61	72	79	82
	Surco a nivel y terraza	Buena	59	70	78	81
LEGUMBRES   Sembrados con maquinaria o al volteo   O ROTACION DE PRADERA	Surco recto	Pobre	66	77	85	89
	Surco recto	Buena	58	72	81	85
	Surco a nivel	Pobre	64	73	83	85
	Surco a nivel	Buena	55	69	78	83
	Surco a nivel y terraza	Pobre	63	73	80	83
	Surco a nivel y terraza	Buena	51	67	76	80
PRADERA NATURAL Y PASTIZAL		Pobre	68	79	86	89
		Regular	49	69	79	84
		Buena	39	61	74	80
	Surco a nivel	Pobre	47	67	81	88
	Surco a nivel	Regular	23	59	73	83
PRADERA PERMANENTE		Buena	6	33	70	79
		Buena	30	56	71	78
BOSQUE		Pobre	45	66	77	83
		Regular	36	60	73	79
	Buena	25	55	70	77	
CASCOS DE HACIENDA			59	74	82	86
CAMINOS DE TIERRA (1)			72	82	87	89
CAMINOS CON PAVIMENTOS Duros(1)			74	84	90	92
SUPERFICIE IMPERMEABLE			100	100	100	100

(1) Incluyendo el derecho de vía.

D-3

**TABLA A**

Uso de la tierra y cobertura	Tratamiento del suelo	Pendiente del terreno, en %	Tipo de suelo				
			A	B <sup>-</sup>	C	D	
Sin cultivo Cultivos en surco	Surcos rectos	.	77	86	91	94	
	Surcos rectos	> 1	72	81	88	91	
	Surcos rectos	< 1	67	78	85	89	
	Contorneo	> 1	70	79	84	88	
	Contorneo	< 1	65	75	82	86	
	Terrazas	> 1	66	74	80	82	
	Terrazas	< 1	62	71	78	81	
	Cereales	Surcos rectos	> 1	65	76	84	88
Surcos rectos		< 1	63	75	83	87	
Contorneo		> 1	63	74	82	85	
Contorneo		< 1	61	73	81	84	
Terrazas		> 1	61	72	79	82	
Terrazas		> 1	59	70	78	81	
Leguminosas o praderas con rotación		Surcos rectos	> 1	66	77	85	89
		Surcos rectos	< 1	58	72	81	85
	Contorneo	> 1	64	75	83	85	
	Contorneo	< 1	55	69	78	83	
	Terrazas	> 1	63	73	80	83	
	Terrazas	< 1	51	67	76	80	
	Pastizales	.....	> 1	68	79	86	89
		.....	< 1	39	61	74	80
Contorneo		> 1	47	67	81	88	
Contorneo		< 1	6	35	70	79	
Pradera permanente	.....	< 1	30	58	71	78	
Bosques naturales	Muy ralo	.....	56	75	86	91	
	Ralo	.....	46	68	78	84	
	Normal	.....	36	60	70	77	
	Espeso	.....	26	52	62	69	
	Muy espeso	.....	15	44	54	61	
Caminos	De terracería	.....	72	82	87	89	
	Con superficie dura	.....	74	84	90	92	

**TABLA B**

## DETERMINACIÓN DE LAS CURVAS I-D-Tr

### REGISTRO DE PRECIPITACIONES MAXIMAS EN 24 hrs.

ESTACION : Chupadero del indio

MUNICIPIO Y ESTADO: García, Nuevo León

No de REGISTRO	AÑO	PRECIPITACION MAXIMA EN 24 hrs. (mm)	Xi <sup>2</sup>	(Xi - X) <sup>2</sup>
1	1981	54.3	2948.5	858.5
2	1982	41.1	1689.2	1806.3
3	1983	56.0	3136.0	761.8
4	1984	69.5	4830.3	198.8
5	1985	91.0	8281.0	54.8
6	1986	70.0	4900.0	185.0
7	1987	158.0	24964.0	5535.4
8	1988	177.0	31329.0	8723.6
9	1989	102.0	10404.0	338.6
10	1990	68.0	4624.0	243.4
11	1991	77.0	5929.0	43.6
12	1992	81.0	6561.0	6.8
13	1993	97.0	9409.0	179.6
14	1994	28.5	812.3	3036.0
<b>SUMATORIA</b>		1170.4	119817.2	21971.8

No. de Registros: 14

Media (X)= 83.60 mm

S<sup>2</sup> = 266.00

S = 16.31

.- Cálculo de los valores de  $\alpha$  y  $\beta$  por el método de la "Función de Distribución Gumbel" siendo  $\alpha$  y  $\beta$  parámetros para muestras pequeñas ( $10 < \text{registros} < 100$ ).

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

n	$\mu_y$	$S_y$
10	0.4952	0.9496
14	x	x
15	0.5128	1.0206

Para los 14 datos registrados, se tienen los siguientes valores:

$$\mu_y = 0.5093$$

$$S_y = 1.0064$$

por lo tanto:

$$\alpha = S_y / S = 1.0064 / 16.31 = 0.06171$$

$$\text{entonces: } 1/\alpha = 16.206$$

$$\beta = X - \mu_y / \alpha = 83.60 - 0.5093 / 0.0617 = 75.347$$

2.- Cálculo de la Precipitación de duración de 24 horas y periodo de retorno de 2 años en mm.

$$P_t = \beta - 1 / \alpha \text{ LnLn } (T_r / (T_r - 1))$$

$$P_{24} = 75.347 - 16.206 \text{ Ln Ln } 2 = 81.286 \text{ mm}$$

3.- Cálculo de la Precipitación de duración de 60 minutos y periodo de retorno de 2 años en mm.

El cociente R (R = precipitación de duración de 60 minutos y periodo de retorno de 2 años / precipitación de duración de 24 horas y periodo de retorno de 2 años) se determina considerando el valor de: 0.3882 el cual representa la región que integra las cuencas estudiadas para el balance hidrológico (figura A1).

$$P_{60} = R \times P_{24}$$

$$P_{60} = 0.3882 \times 81.286$$

$$P_{60} = 31.555 \text{ mm.}$$

4.- Cálculo de la precipitación de duración t minutos y periodo de retorno de 2 años, en mm; según la fórmula de F. C. Bell.

$$P_t = (0.35 \text{ Ln } T + 0.76) (0.54 t^{0.25} - 0.50) P_{24}$$

$$P_5 = (0.35 \text{ Ln } 2 + 0.76) (0.54 \times 5^{0.25} - 0.50) \times 31.555 = 9.73 \text{ mm}$$

$$P_{10} = (0.35 \text{ Ln } 2 + 0.76) (0.54 \times 10^{0.25} - 0.50) \times 31.555 = 14.56 \text{ mm}$$

$$P_{20} = (0.35 \text{ Ln } 2 + 0.76) (0.54 \times 15^{0.25} - 0.50) \times 31.555 = 20.31 \text{ mm}$$

5.- Cálculo de las intensidades, correspondientes a las precipitaciones determinadas con la formula de Bell.

$$I = \frac{60 \times P}{t} \times \frac{Tr}{t}$$

$$I = \frac{60 \times 9.73}{5} \times \frac{2}{5} = 116.74 \text{ mm}$$

$$I = \frac{60 \times 14.56}{10} \times \frac{2}{10} = 87.37 \text{ mm}$$

$$I = \frac{60 \times 20.31}{20} \times \frac{2}{20} = 60.93 \text{ mm}$$

6.- A continuación se presenta el complemento del cálculo de las curvas I-D-Tr, de la estación pluviométrica de Chupadero del Indio, de Saltillo y de Icamole. Los tiempo utilizados para determinar la intensidad y duración fueron de 20 y 5 minutos. Con lo resultados obtenidos se procedio a la aplicación del programa Hec-1, mediante el cual se realizo el balance hidrológico.

1.- Parámetros a, b y c en función del cociente lluvia-duración (R)

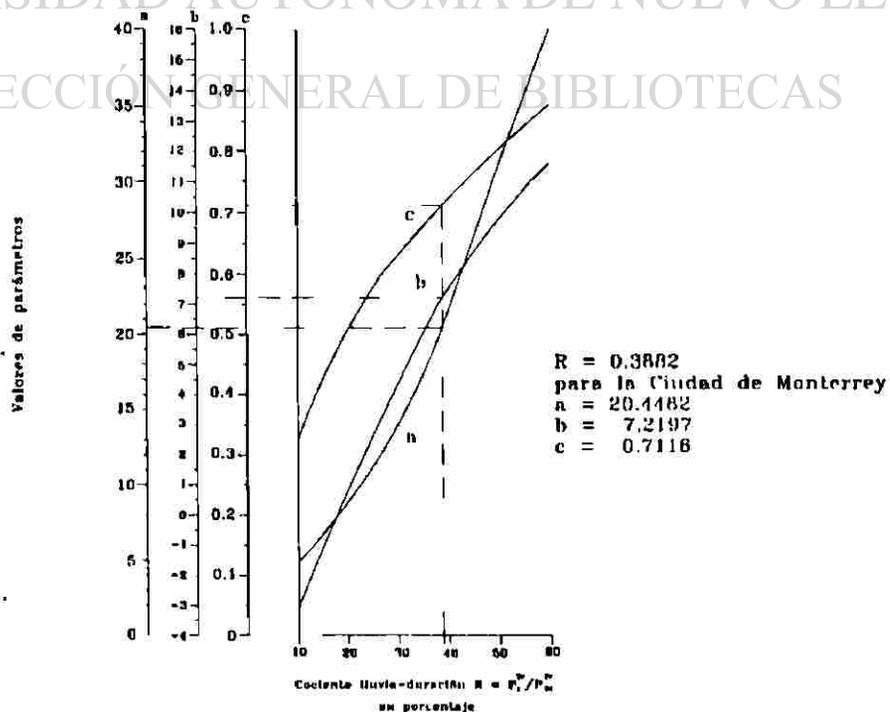


Figura A1. Determinación del cociente R, para la región en estudio (estación Monterrey)

**DETERMINACION DE LAS CURVAS I-D-Tr**  
**ESTACION: Icamole MPIO. Y EDO. : García, Nuevo León**  
**Método de F.C. Bell**

**Período de Retorno de 1 año**

Tiempo minutos	Precipitación mm	Intensidad mm/hra	Tiempo minutos	Precipitación mm	Intensidad mm/hra
5	5.84	70.03	225	30.20	8.05
10	8.74	52.41	230	30.42	7.94
15	10.68	42.72	235	30.64	7.82
20	12.18	36.55	240	30.85	7.71
25	13.43	32.23	245	31.06	7.61
30	14.50	28.99	250	31.26	7.50
35	15.44	26.47	255	31.47	7.40
40	16.28	24.43	260	31.67	7.31
45	17.06	22.74	265	31.86	7.21
50	17.76	21.32	270	32.06	7.12
55	18.42	20.10	275	32.25	7.04
60	19.03	19.03	280	32.43	6.95
65	19.61	18.10	285	32.62	6.87
70	20.16	17.28	290	32.80	6.79
75	20.67	16.54	295	32.99	6.71
80	21.16	15.87	300	33.16	6.63
85	21.63	15.27	305	33.34	6.56
90	22.08	14.72	310	33.52	6.49
95	22.51	14.22	315	33.69	6.42
100	22.92	13.75	320	33.86	6.35
105	23.32	13.32	325	34.03	6.28
110	23.70	12.93	330	34.19	6.22
115	24.07	12.56	335	34.36	6.15
120	24.43	12.22	340	34.52	6.09
125	24.78	11.89	345	34.68	6.03
130	25.12	11.59	350	34.84	5.97
135	25.45	11.31	355	35.00	5.92
140	25.76	11.04	360	35.15	5.86
145	26.08	10.79	365	35.31	5.80
150	26.38	10.55	370	35.46	5.75
155	26.67	10.33	375	35.61	5.70
160	26.96	10.11	380	35.76	5.65
165	27.24	9.91	385	35.91	5.60
170	27.52	9.71	390	36.06	5.55
175	27.79	9.53	395	36.20	5.50
180	28.05	9.35	400	36.34	5.45
185	28.31	9.18	405	36.49	5.41
190	28.56	9.02	410	36.63	5.36
195	28.81	8.86	415	36.77	5.32
200	29.05	8.72	420	36.91	5.27
205	29.29	8.57	425	37.04	5.23
210	29.53	8.44	430	37.18	5.19
215	29.76	8.30	435	37.32	5.15
220	29.98	8.18	440	37.45	5.11

**DETERMINACION DE LAS CURVAS I-D-Tr**  
**ESTACION: Icamole MPIO. Y EDO. : García, Nuevo León**  
**Método de F.C. Bell**

**Período de Retorno de 1 año**

Tiempo minutos	Precipitación mm	Intensidad mm/hra	Tiempo minutos	Precipitación mm	Intensidad mm/hra
445	37.58	5.07	670	42.65	3.82
450	37.71	5.03	675	42.75	3.80
455	37.85	4.99	680	42.85	3.78
460	37.97	4.95	685	42.94	3.76
465	38.10	4.92	690	43.04	3.74
470	38.23	4.88	695	43.13	3.72
475	38.36	4.85	700	43.23	3.71
480	38.48	4.81	705	43.32	3.69
485	38.61	4.78	710	43.41	3.67
490	38.73	4.74	715	43.51	3.65
495	38.85	4.71	720	43.60	3.63
500	38.97	4.68	725	43.69	3.62
505	39.10	4.64	730	43.78	3.60
510	39.22	4.61	735	43.87	3.58
515	39.33	4.58	740	43.97	3.56
520	39.45	4.55	745	44.06	3.55
525	39.57	4.52	750	44.14	3.53
530	39.69	4.49	755	44.23	3.52
535	39.80	4.46	760	44.32	3.50
540	39.92	4.44	765	44.41	3.48
545	40.03	4.41	770	44.50	3.47
550	40.14	4.38	775	44.59	3.45
555	40.26	4.35	780	44.67	3.44
560	40.37	4.33	785	44.76	3.42
565	40.48	4.30	790	44.85	3.41
570	40.59	4.27	795	44.93	3.39
575	40.70	4.25	800	45.02	3.38
580	40.81	4.22	805	45.10	3.36
585	40.91	4.20	810	45.19	3.35
590	41.02	4.17	815	45.27	3.33
595	41.13	4.15	820	45.35	3.32
600	41.23	4.12	880	46.33	3.16
605	41.34	4.10	940	47.26	3.02
610	41.44	4.08	1000	48.14	2.89
615	41.55	4.05	1060	48.99	2.77
620	41.65	4.03	1120	49.80	2.67
625	41.75	4.01	1180	50.58	2.57
630	41.86	3.99	1240	51.33	2.48
635	41.96	3.96	1300	52.05	2.40
640	42.06	3.94	1360	52.75	2.33
645	42.16	3.92	1420	53.42	2.26
650	42.26	3.90	1480	54.08	2.19
655	42.36	3.88	1540	54.71	2.13
660	42.46	3.86	1440	53.65	2.24
665	42.56	3.84			

**DETERMINACION DE LAS CURVAS I-D-Tr**  
**ESTACION: Chupadero del Indio MPIO. Y EDO. : García, Nuevo León**  
**Método de F.C. Bell**

Periodo de Retorno de 1 año

Tiempo minutos	Precipitación mm	Intensidad mm/h	Tiempo minutos	Precipitación mm	Intensidad mm/h
5	7.37	88.49	250	39.50	9.48
10	11.04	66.23	255	39.76	9.36
15	13.50	53.98	260	40.01	9.23
20	15.40	46.19	265	40.26	9.12
25	16.97	40.72	270	40.50	9.00
30	18.32	36.63	275	40.75	8.89
35	19.51	33.44	280	40.98	8.78
40	20.58	30.87	285	41.22	8.68
45	21.55	28.73	290	41.45	8.58
50	22.45	26.93	295	41.68	8.48
55	23.28	25.39	300	41.91	8.38
60	24.05	24.05	305	42.13	8.29
65	24.78	22.87	310	42.35	8.20
70	25.47	21.83	315	42.57	8.11
75	26.12	20.90	320	42.78	8.02
80	26.74	20.05	325	42.99	7.94
85	27.33	19.29	330	43.21	7.86
90	27.90	18.60	335	43.41	7.78
95	28.44	17.96	340	43.62	7.70
100	28.96	17.38	345	43.82	7.62
105	29.46	16.84	350	44.02	7.55
110	29.95	16.34	355	44.22	7.47
115	30.42	15.87	360	44.42	7.40
120	30.87	15.44	365	44.61	7.33
125	31.31	15.03	370	44.81	7.27
130	31.74	14.65	375	45.00	7.20
135	32.15	14.29	380	45.19	7.13
140	32.56	13.95	385	45.37	7.07
145	32.95	13.63	390	45.56	7.01
150	33.33	13.33	395	45.74	6.95
155	33.70	13.05	400	45.92	6.89
160	34.07	12.78	405	46.10	6.83
165	34.42	12.52	410	46.28	6.77
170	34.77	12.27	415	46.46	6.72
175	35.11	12.04	420	46.64	6.66
180	35.44	11.81	425	46.81	6.61
185	35.77	11.60	430	46.98	6.56
190	36.09	11.40	435	47.15	6.50
195	36.40	11.20	440	47.32	6.45
200	36.71	11.01	445	47.49	6.40
205	37.01	10.83	450	47.66	6.35
210	37.31	10.66	455	47.82	6.31
215	37.60	10.49	460	47.98	6.26
220	37.88	10.33	465	48.15	6.21
225	38.17	10.18	470	48.31	6.17
230	38.44	10.03	475	48.47	6.12
235	38.71	9.88	480	48.63	6.08
240	38.98	9.75	485	48.78	6.03
245	39.24	9.61	490	48.94	5.99

**DETERMINACION DE LAS CURVAS I-D-Tr**  
**ESTACION: Chupadero del Indio MPIO. Y EDO. : García, Nuevo León**  
**Método de F.C. Bell**

Período de Retorno de 1 año

Tiempo minutos	Precipitación mm	Intensidad mm/h	Tiempo minutos	Precipitación mm	Intensidad mm/h
495	49.09	5.95	740	55.55	4.50
500	49.25	5.91	745	55.67	4.48
505	49.40	5.87	750	55.78	4.46
510	49.55	5.83	755	55.89	4.44
515	49.70	5.79	760	56.01	4.42
520	49.85	5.75	765	56.12	4.40
525	50.00	5.71	770	56.23	4.38
530	50.15	5.68	775	56.34	4.36
535	50.29	5.64	780	56.45	4.34
540	50.44	5.60	785	56.56	4.32
545	50.58	5.57	790	56.67	4.30
550	50.72	5.53	795	56.77	4.28
555	50.87	5.50	800	56.88	4.27
560	51.01	5.47	805	56.99	4.25
565	51.15	5.43	810	57.10	4.23
570	51.29	5.40	815	57.20	4.21
575	51.42	5.37	820	57.31	4.19
580	51.56	5.33	825	57.41	4.18
585	51.70	5.30	830	57.52	4.16
590	51.83	5.27	835	57.62	4.14
595	51.97	5.24	840	57.73	4.12
600	52.10	5.21	845	57.83	4.11
605	52.24	5.18	850	57.93	4.09
610	52.37	5.15	855	58.04	4.07
615	52.50	5.12	860	58.14	4.06
620	52.63	5.09	865	58.24	4.04
625	52.76	5.07	870	58.34	4.02
630	52.89	5.04	875	58.44	4.01
635	53.02	5.01	880	58.54	3.99
640	53.15	4.98	885	58.64	3.98
645	53.27	4.96	890	58.74	3.96
650	53.40	4.93	895	58.84	3.94
655	53.52	4.90	900	58.94	3.93
660	53.65	4.88	905	59.04	3.91
665	53.77	4.85	910	59.14	3.90
670	53.90	4.83	915	59.23	3.88
675	54.02	4.80	920	59.33	3.87
680	54.14	4.78	925	59.43	3.85
685	54.26	4.75	930	59.52	3.84
690	54.38	4.73	935	59.62	3.83
695	54.50	4.71	940	59.72	3.81
700	54.62	4.68	945	59.81	3.80
705	54.74	4.66	950	59.91	3.78
710	54.86	4.64	955	60.00	3.77
715	54.98	4.61	960	60.09	3.76
720	55.09	4.59	965	60.19	3.74
725	55.21	4.57	970	60.28	3.73
730	55.32	4.55	975	60.37	3.72
735	55.44	4.53	980	60.47	3.70

**DETERMINACION DE LAS CURVAS I-D-Tr**  
**ESTACION: Chupadero del Indio MPIO. Y EDO. : García, Nuevo León**

**Método de F.C. Bell**

**Período de Retorno de 1 año**

Tiempo minutos	Precipitación mm	Intensidad mm/h	Tiempo minutos	Precipitación mm	Intensidad mm/h
985	60.56	3.69	1230	64.70	3.16
990	60.65	3.68	1235	64.78	3.15
995	60.74	3.66	1240	64.86	3.14
1000	60.83	3.65	1245	64.93	3.13
1005	60.92	3.64	1250	65.01	3.12
1010	61.02	3.62	1255	65.09	3.11
1015	61.11	3.61	1260	65.17	3.10
1020	61.20	3.60	1265	65.24	3.09
1025	61.28	3.59	1270	65.32	3.09
1030	61.37	3.58	1275	65.39	3.08
1035	61.46	3.56	1280	65.47	3.07
1040	61.55	3.55	1285	65.55	3.06
1045	61.64	3.54	1290	65.62	3.05
1050	61.73	3.53	1295	65.70	3.04
1055	61.82	3.52	1300	65.77	3.04
1060	61.90	3.50	1305	65.85	3.03
1065	61.99	3.49	1310	65.92	3.02
1070	62.08	3.48	1315	65.99	3.01
1075	62.16	3.47	1320	66.07	3.00
1080	62.25	3.46	1325	66.14	3.00
1085	62.33	3.45	1330	66.22	2.99
1090	62.42	3.44	1335	66.29	2.98
1095	62.51	3.42	1340	66.36	2.97
1100	62.59	3.41	1345	66.44	2.96
1105	62.67	3.40	1350	66.51	2.96
1110	62.76	3.39	1355	66.58	2.95
1115	62.84	3.38	1360	66.65	2.94
1120	62.93	3.37	1365	66.73	2.93
1125	63.01	3.36	1370	66.80	2.93
1130	63.09	3.35	1375	66.87	2.92
1135	63.18	3.34	1380	66.94	2.91
1140	63.26	3.33	1385	67.01	2.90
1145	63.34	3.32	1390	67.08	2.90
1150	63.42	3.31	1395	67.15	2.89
1155	63.51	3.30	1400	67.22	2.88
1160	63.59	3.29	1405	67.30	2.87
1165	63.67	3.28	1410	67.37	2.87
1170	63.75	3.27	1415	67.44	2.86
1175	63.83	3.26	1420	67.51	2.85
1180	63.91	3.25	1425	67.58	2.85
1185	63.99	3.24	1430	67.65	2.84
1190	64.07	3.23	1435	67.72	2.83
1195	64.15	3.22	1440	67.78	2.82
1200	64.23	3.21	1445	67.85	2.82
1205	64.31	3.20	1450	67.92	2.81
1210	64.39	3.19	1455	67.99	2.80
1215	64.47	3.18	1460	68.06	2.80
1220	64.55	3.17	1465	68.13	2.79
1225	64.62	3.17			

**DETERMINACION DE LAS CURVAS I-D-Tr**  
**ESTACION: Saltillo MPIO. Y EDO. : Saltillo, Coahuila**

**Método de F.C. Bell**

**Período de Retorno de 1 año**

Tiempo minutos	Precipitación mm	Intensidad mm/h	Tiempo minutos	Precipitación mm	Intensidad mm/h
20	17.49	52.47	1020	69.52	4.09
40	23.38	35.06	1040	69.92	4.03
60	27.32	27.32	1060	70.32	3.98
80	30.38	22.78	1080	70.72	3.93
100	32.90	19.74	1100	71.10	3.88
120	35.07	17.54	1120	71.49	3.83
140	36.98	15.85	1140	71.86	3.78
160	38.70	14.51	1160	72.24	3.74
180	40.26	13.42	1180	72.60	3.69
200	41.70	12.51	1200	72.97	3.65
220	43.04	11.74	1220	73.33	3.61
240	44.28	11.07	1240	73.68	3.57
260	45.45	10.49	1260	74.03	3.53
280	46.56	9.98	1280	74.38	3.49
300	47.61	9.52	1300	74.72	3.45
320	48.60	9.11	1320	75.05	3.41
340	49.55	8.74	1340	75.39	3.38
360	50.46	8.41	1360	75.72	3.34
380	51.33	8.11	1380	76.05	3.31
400	52.17	7.83	1400	76.37	3.27
420	52.98	7.57	1420	76.69	3.24
440	53.76	7.33	1440	77.00	3.21
460	54.51	7.11	1460	77.32	3.18
480	55.24	6.90	1480	77.63	3.15
500	55.95	6.71	1500	77.93	3.12
520	56.63	6.53	1520	78.24	3.09
540	57.30	6.37	1540	78.54	3.06
560	57.94	6.21	1560	78.84	3.03
580	58.58	6.06	1580	79.13	3.00
600	59.19	5.92	1600	79.42	2.98
620	59.79	5.79	1620	79.71	2.95
640	60.37	5.66	1640	80.00	2.93
660	60.95	5.54	1660	80.28	2.90
680	61.50	5.43	1680	80.57	2.88
700	62.05	5.32	1700	80.84	2.85
720	62.59	5.22	1720	81.12	2.83
740	63.11	5.12	1740	81.40	2.81
760	63.62	5.02	1760	81.67	2.78
780	64.13	4.93	1780	81.94	2.76
800	64.62	4.85	1800	82.20	2.74
820	65.10	4.76	1820	82.47	2.72
840	65.58	4.68	1840	82.73	2.70
860	66.05	4.61	1860	82.99	2.68
880	66.51	4.53	1880	83.25	2.66
900	66.96	4.46	1900	83.51	2.64
920	67.40	4.40	1920	83.76	2.62
940	67.84	4.33	1940	84.02	2.60
960	68.27	4.27	1960	84.27	2.58
980	68.69	4.21	1980	84.51	2.56
1000	69.11	4.15	2000	84.76	2.54

**DETERMINACION DE LAS CURVAS I-D-Tr**  
**ESTACION: Saltillo MPIO. Y EDO. : Saltillo, Coahuila**

**Método de F.C. Bell**

**Período de Retorno de 1 año**

Tiempo minutos	Precipitación mm	Intensidad mm/h	Tiempo minutos	Precipitación mm	Intensidad mm/h
2020	85.01	2.52	3040	95.62	1.89
2040	85.25	2.51	3060	95.80	1.88
2060	85.49	2.49	3080	95.98	1.87
2080	85.73	2.47	3100	96.15	1.86
2100	85.97	2.46	3120	96.33	1.85
2120	86.21	2.44	3140	96.51	1.84
2140	86.44	2.42	3160	96.68	1.84
2160	86.67	2.41	3180	96.86	1.83
2180	86.90	2.39	3200	97.03	1.82
2200	87.13	2.38	3220	97.20	1.81
2220	87.36	2.36	3240	97.37	1.80
2240	87.59	2.35	3260	97.54	1.80
2260	87.81	2.33	3280	97.71	1.79
2280	88.04	2.32	3300	97.88	1.78
2300	88.26	2.30	3320	98.05	1.77
2320	88.48	2.29	3340	98.22	1.76
2340	88.70	2.27	3360	98.39	1.76
2360	88.92	2.26	3380	98.55	1.75
2380	89.13	2.25	3400	98.72	1.74
2400	89.35	2.23	3420	98.88	1.73
2420	89.56	2.22	3440	99.05	1.73
2440	89.78	2.21	3460	99.21	1.72
2460	89.99	2.19	3480	99.37	1.71
2480	90.20	2.18	3500	99.54	1.71
2500	90.41	2.17	3520	99.70	1.70
2520	90.61	2.16	3540	99.86	1.69
2540	90.82	2.15	3560	100.02	1.69
2560	91.02	2.13	3580	100.18	1.68
2580	91.23	2.12	3600	100.34	1.67
2600	91.43	2.11	3620	100.49	1.67
2620	91.63	2.10	3640	100.65	1.66
2640	91.83	2.09	3660	100.81	1.65
2660	92.03	2.08	3680	100.96	1.65
2680	92.23	2.06	3700	101.12	1.64
2700	92.43	2.05	3720	101.27	1.63
2720	92.62	2.04	3740	101.43	1.63
2740	92.82	2.03	3760	101.58	1.62
2760	93.01	2.02	3780	101.73	1.61
2780	93.20	2.01	3800	101.89	1.61
2800	93.40	2.00	3820	102.04	1.60
2820	93.59	1.99	3840	102.19	1.60
2840	93.78	1.98	3860	102.34	1.59
2860	93.96	1.97	3880	102.49	1.58
2880	94.15	1.96	3900	102.64	1.58
2900	94.34	1.95	3920	102.79	1.57
2920	94.52	1.94	3940	102.94	1.57
2940	94.71	1.93	3960	103.08	1.56
2960	94.89	1.92	3980	103.23	1.56
2980	95.08	1.91	4000	103.38	1.55
3000	95.26	1.91	4020	103.52	1.55
3020	95.44	1.90			

```

FLOOD HYDROGRAPH PACKAGE (HEC-1)
  SEPTEMBER 1990
  VERSION 4.0
RUN DATE 09/12/1997 TIME 19:51:54

```

```

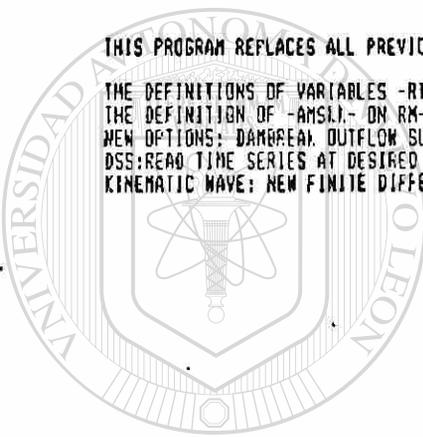
U.S. ARMY CORPS OF ENGINEERS
HYDROLOGIC ENGINEERING CENTER
409 SECOND STREET
DAVIS, CALIFORNIA 95616
(916) 756-1104

```

```

X X XXXXXX XXXX X
X X X X X XX
X X X X X X
XXXXXX XXXX X XXXX X
X X X X X X
X X Y Y X X X
X X XXXXXX XXXX XXX

```



THIS PROGRAM REPLACES ALL PREVIOUS VERSIONS OF HEC-1 KNOWN AS HEC1 (JAN 73), HEC1GS, HEC1DR, AND HEC1DM.

THE DEFINITIONS OF VARIABLES -RTIMP- AND -RTIDR- HAVE CHANGED FROM THOSE USED WITH THE 1973-STYLE INPUT STRUCTURE. THE DEFINITION OF -ANSLI- ON RM-CARD WAS CHANGED WITH REVISIONS DATED 28 SEP 81. THIS IS THE FORTRAN77 VERSION.

NEW OPTIONS: DAMBREAK, OUTFLOW BURGERMENCE, SINGLE EVENT DAMAGE CALCULATION, DSS:WRITE STAGE FREQUENCY, DSS:READ TIME SERIES AT DESIRED CALCULATION INTERVAL, LOSS RATE:GREEN AND AMPT INFILTRATION

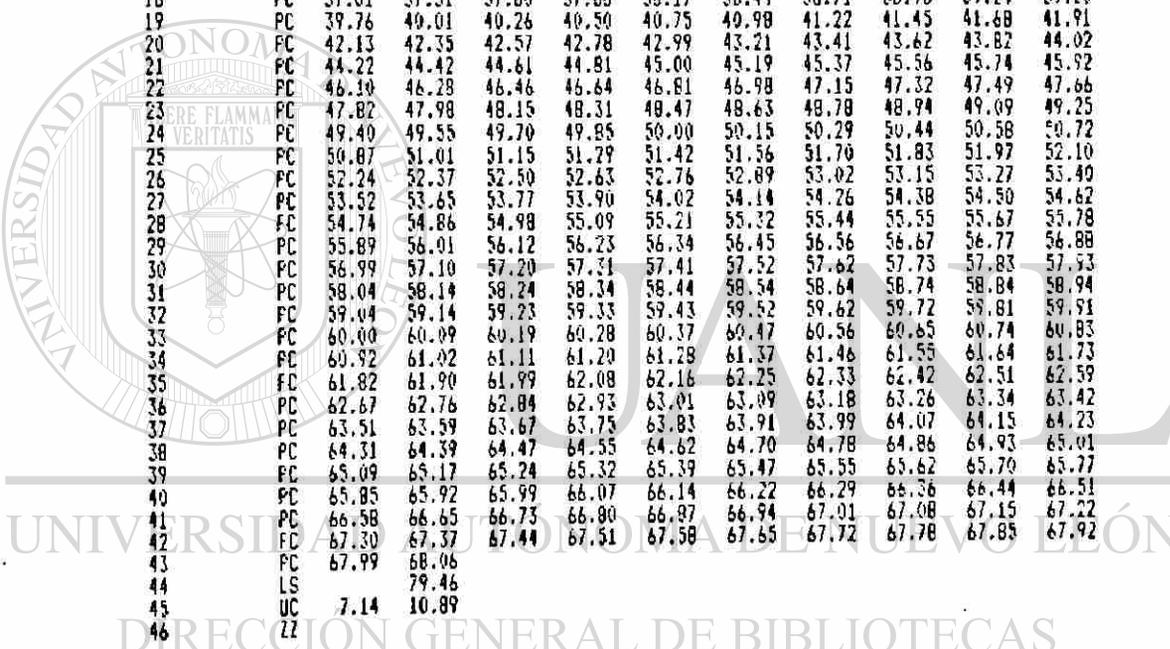
KINEMATIC WAVE: NEW FINITE DIFFERENCE ALGORITHM

# UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

LINE	ID	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	ID	SIMULACION HIDROLOGICA POR LA UNIDAD HIDROGRAFICA DE CLAREX									
2	ID	ESTACION METEOROLOGICA: Chugadero del Indio									
3	ID	PERIODO DE RETORNO TR = 1 AÑO									
4	ID	ANALISIS HIDROLOGICO: Rio Salinas									
5	ID	LOCALIZACION: Cuenca Faredon e Icamole									
6	ID	FECHA : Agosto de 1997									
7	IM										
8	IT	5	0	5	292						
9	IO	1	2								
10	NY	1									
11	KM	Lamina efectiva de tormenta simulada									
12	BA	171.3									
13	PB	0									
14	FC	7.37	11.04	13.50	15.40	16.97	18.32	19.51	20.58	21.55	22.45
15	PC	23.28	24.05	24.78	25.47	26.12	26.74	27.33	27.90	28.44	28.96
16	FC	29.46	29.95	30.42	30.87	31.31	31.74	32.15	32.56	32.95	33.33
17	FC	33.70	34.07	34.42	34.77	35.11	35.44	35.77	36.09	36.40	36.71
18	FC	37.01	37.31	37.60	37.88	38.17	38.44	38.71	38.98	39.24	39.50
19	PC	39.76	40.01	40.26	40.50	40.75	40.98	41.22	41.45	41.68	41.91
20	FC	42.13	42.35	42.57	42.78	42.99	43.21	43.41	43.62	43.82	44.02
21	PC	44.22	44.42	44.61	44.81	45.00	45.19	45.37	45.56	45.74	45.92
22	FC	46.10	46.28	46.46	46.64	46.81	46.98	47.15	47.32	47.49	47.66
23	PC	47.82	47.98	48.15	48.31	48.47	48.63	48.78	48.94	49.09	49.25
24	FC	49.40	49.55	49.70	49.85	50.00	50.15	50.29	50.44	50.58	50.72
25	PC	50.87	51.01	51.15	51.29	51.42	51.56	51.70	51.83	51.97	52.10
26	FC	52.24	52.37	52.50	52.63	52.76	52.89	53.02	53.15	53.27	53.40
27	PC	53.52	53.65	53.77	53.90	54.02	54.14	54.26	54.38	54.50	54.62
28	FC	54.74	54.86	54.98	55.09	55.21	55.32	55.44	55.55	55.67	55.78
29	PC	55.89	56.01	56.12	56.23	56.34	56.45	56.56	56.67	56.77	56.88
30	FC	56.99	57.10	57.20	57.31	57.41	57.52	57.62	57.73	57.83	57.93
31	PC	58.04	58.14	58.24	58.34	58.44	58.54	58.64	58.74	58.84	58.94
32	FC	59.04	59.14	59.23	59.33	59.43	59.52	59.62	59.72	59.81	59.91
33	PC	60.00	60.09	60.19	60.28	60.37	60.47	60.56	60.65	60.74	60.83
34	FC	60.92	61.02	61.11	61.20	61.28	61.37	61.46	61.55	61.64	61.73
35	PC	61.82	61.90	61.99	62.08	62.16	62.25	62.33	62.42	62.51	62.59
36	FC	62.67	62.76	62.84	62.93	63.01	63.09	63.18	63.26	63.34	63.42
37	PC	63.51	63.59	63.67	63.75	63.83	63.91	63.99	64.07	64.15	64.23
38	FC	64.31	64.39	64.47	64.55	64.62	64.70	64.78	64.86	64.93	65.01
39	PC	65.09	65.17	65.24	65.32	65.39	65.47	65.55	65.62	65.70	65.77
40	FC	65.85	65.92	65.99	66.07	66.14	66.22	66.29	66.36	66.44	66.51
41	PC	66.58	66.65	66.73	66.80	66.87	66.94	67.01	67.08	67.15	67.22
42	FC	67.30	67.37	67.44	67.51	67.58	67.65	67.72	67.78	67.85	67.92
43	PC	67.99	68.06								
44	LS	79.46									
45	UC	7.14	10.89								
46	ZZ										







1	0010	4	1.90	1.90	.00	0.	1	1230	150	.11	.05	.06	28.
1	0025	5	1.57	1.57	.00	0.	1	1235	151	.11	.05	.06	28.
1	0030	6	1.35	1.35	.00	0.	1	1240	152	.12	.05	.07	28.
1	0035	7	1.19	1.19	.00	0.	1	1245	153	.11	.05	.06	28.
1	0040	8	1.07	1.07	.00	0.	1	1250	154	.11	.05	.06	28.
1	0045	9	.97	.95	.02	0.	1	1255	155	.11	.05	.06	28.
1	0050	10	.90	.86	.04	0.	1	1300	156	.11	.05	.06	28.
1	0055	11	.83	.77	.06	0.	1	1305	157	.11	.05	.06	28.
1	0100	12	.77	.70	.07	0.	1	1310	158	.11	.05	.06	28.
1	0105	13	.73	.65	.08	0.	1	1315	159	.10	.04	.06	29.
1	0110	14	.69	.60	.09	0.	1	1320	160	.11	.05	.06	29.
1	0115	15	.65	.56	.09	0.	1	1325	161	.11	.05	.06	29.
1	0120	16	.62	.52	.10	0.	1	1330	162	.11	.05	.06	29.
1	0125	17	.59	.49	.10	0.	1	1335	163	.10	.04	.06	29.
1	0130	18	.57	.46	.11	0.	1	1340	164	.11	.05	.06	29.
1	0135	19	.54	.43	.11	0.	1	1345	165	.10	.04	.06	29.
1	0140	20	.52	.41	.11	0.	1	1350	166	.11	.05	.06	29.
1	0145	21	.50	.39	.11	0.	1	1355	167	.10	.04	.06	29.
1	0150	22	.49	.38	.11	0.	1	1400	168	.11	.04	.07	29.
1	0155	23	.47	.36	.11	0.	1	1405	169	.10	.04	.06	30.
1	0200	24	.45	.34	.11	0.	1	1410	170	.10	.04	.06	30.
1	0205	25	.44	.33	.11	0.	1	1415	171	.11	.04	.07	30.
1	0210	26	.43	.32	.11	0.	1	1420	172	.10	.04	.06	30.
1	0215	27	.41	.30	.11	0.	1	1425	173	.10	.04	.06	30.
1	0220	28	.41	.29	.12	0.	1	1430	174	.10	.04	.06	30.
1	0225	29	.39	.28	.11	0.	1	1435	175	.10	.04	.06	30.
1	0230	30	.38	.27	.11	1.	1	1440	176	.10	.04	.06	30.
1	0235	31	.37	.26	.11	1.	1	1445	177	.10	.04	.06	30.
1	0240	32	.37	.26	.11	1.	1	1450	178	.10	.04	.06	30.
1	0245	33	.35	.24	.11	1.	1	1455	179	.10	.04	.06	30.
1	0250	34	.35	.24	.11	1.	1	1500	180	.10	.04	.06	30.
1	0255	35	.34	.23	.11	1.	1	1505	181	.10	.04	.06	30.
1	0300	36	.33	.22	.11	1.	1	1510	182	.10	.04	.06	31.
1	0305	37	.33	.22	.11	1.	1	1515	183	.09	.04	.05	31.
1	0310	38	.32	.21	.11	1.	1	1520	184	.10	.04	.06	31.
1	0315	39	.31	.20	.11	1.	1	1525	185	.10	.04	.06	31.
1	0320	40	.31	.20	.11	1.	1	1530	186	.09	.04	.05	31.
1	0325	41	.30	.19	.11	2.	1	1535	187	.10	.04	.06	31.
1	0330	42	.30	.19	.11	2.	1	1540	188	.10	.04	.06	31.
1	0335	43	.29	.18	.11	2.	1	1545	189	.09	.04	.05	31.
1	0340	44	.28	.18	.10	2.	1	1550	190	.10	.04	.06	31.
1	0345	45	.29	.18	.11	2.	1	1555	191	.09	.04	.05	31.
1	0350	46	.27	.17	.10	2.	1	1600	192	.09	.04	.05	31.
1	0355	47	.27	.17	.10	2.	1	1605	193	.10	.04	.06	31.
1	0400	48	.27	.16	.11	3.	1	1610	194	.09	.03	.06	31.
1	0405	49	.26	.16	.10	3.	1	1615	195	.09	.03	.06	31.
1	0410	50	.26	.16	.10	3.	1	1620	196	.10	.04	.06	31.
1	0415	51	.26	.16	.10	3.	1	1625	197	.09	.03	.06	31.
1	0420	52	.25	.15	.10	3.	1	1630	198	.09	.03	.06	31.
1	0425	53	.25	.15	.10	4.	1	1635	199	.09	.03	.06	31.
1	0430	54	.24	.14	.10	4.	1	1640	200	.09	.03	.06	31.
1	0435	55	.25	.15	.10	4.	1	1645	201	.09	.03	.06	31.
1	0440	56	.23	.13	.10	4.	1	1650	202	.10	.04	.06	32.
1	0445	57	.24	.14	.10	4.	1	1655	203	.09	.03	.06	32.
1	0450	58	.23	.13	.10	5.	1	1700	204	.09	.03	.06	32.
1	0455	59	.23	.13	.10	5.	1	1705	205	.08	.03	.05	32.
1	0500	60	.23	.13	.10	5.	1	1710	206	.09	.03	.06	32.
1	0505	61	.22	.12	.10	5.	1	1715	207	.09	.03	.06	32.
1	0510	62	.22	.12	.10	6.	1	1720	208	.09	.03	.06	32.
1	0515	63	.22	.12	.10	6.	1	1725	209	.09	.03	.06	32.
1	0520	64	.21	.12	.09	6.	1	1730	210	.09	.03	.06	32.
1	0525	65	.21	.12	.09	6.	1	1735	211	.09	.03	.06	32.
1	0530	66	.22	.12	.10	7.	1	1740	212	.08	.03	.05	32.
1	0535	67	.20	.11	.09	7.	1	1745	213	.09	.03	.06	32.
1	0540	68	.21	.12	.09	7.	1	1750	214	.09	.03	.06	32.
1	0545	69	.20	.11	.09	8.	1	1755	215	.08	.03	.05	32.
1	0550	70	.20	.11	.09	8.	1	1800	216	.09	.03	.06	32.
1	0555	71	.20	.11	.09	8.	1	1805	217	.08	.03	.05	32.
1	0600	72	.20	.11	.09	8.	1	1810	218	.09	.03	.06	32.
1	0605	73	.19	.10	.09	9.	1	1815	219	.09	.03	.06	32.
1	0610	74	.20	.11	.09	9.	1	1820	220	.08	.03	.05	32.
1	0615	75	.19	.10	.09	9.	1	1825	221	.08	.03	.05	32.
1	0620	76	.19	.10	.09	10.	1	1830	222	.09	.03	.06	32.
1	0625	77	.18	.09	.09	10.	1	1835	223	.08	.03	.05	32.
1	0630	78	.19	.10	.09	10.	1	1840	224	.09	.03	.06	32.
1	0635	79	.18	.09	.09	11.	1	1845	225	.08	.03	.05	32.
1	0640	80	.18	.09	.09	11.	1	1850	226	.08	.03	.05	32.
1	0645	81	.18	.09	.09	11.	1	1855	227	.09	.03	.06	32.
1	0650	82	.18	.09	.09	12.	1	1900	228	.08	.03	.05	32.
1	0655	83	.18	.09	.09	12.	1	1905	229	.08	.03	.05	32.
1	0700	84	.18	.09	.09	12.	1	1910	230	.08	.03	.05	32.
1	0705	85	.17	.09	.08	13.	1	1915	231	.09	.03	.06	32.
1	0710	86	.17	.09	.08	13.	1	1920	232	.08	.03	.05	32.
1	0715	87	.17	.09	.08	13.	1	1925	233	.08	.03	.05	32.
1	0720	88	.17	.09	.08	14.	1	1930	234	.08	.03	.05	32.
1	0725	89	.17	.09	.08	14.	1	1935	235	.08	.03	.05	32.
1	0730	90	.17	.09	.08	14.	1	1940	236	.08	.03	.05	32.
1	0735	91	.16	.08	.08	15.	1	1945	237	.08	.03	.05	32.

1	0740	92	.16	.08	.08	15.	1	1950	238	.09	.03	.05	32.
1	0745	93	.17	.08	.09	15.	1	1955	239	.08	.03	.05	32.
1	0750	94	.16	.08	.08	15.	1	2000	240	.08	.03	.05	32.
1	0755	95	.16	.08	.08	16.	1	2005	241	.08	.03	.05	32.
1	0800	96	.16	.08	.08	16.	1	2010	242	.08	.03	.05	32.
1	0805	97	.15	.07	.08	16.	1	2015	243	.08	.03	.05	32.
1	0810	98	.16	.08	.08	17.	1	2020	244	.08	.03	.05	32.
1	0815	99	.15	.07	.08	17.	1	2025	245	.07	.03	.04	32.
1	0820	100	.16	.08	.08	17.	1	2030	246	.08	.03	.05	32.
1	0825	101	.15	.07	.08	18.	1	2035	247	.08	.03	.05	32.
1	0830	102	.15	.07	.08	18.	1	2040	248	.08	.03	.05	32.
1	0835	103	.15	.07	.08	18.	1	2045	249	.07	.02	.05	32.
1	0840	104	.15	.07	.08	18.	1	2050	250	.08	.03	.05	32.
1	0845	105	.15	.07	.08	19.	1	2055	251	.08	.03	.05	32.
1	0850	106	.15	.07	.08	19.	1	2100	252	.08	.03	.05	32.
1	0855	107	.14	.07	.07	19.	1	2105	253	.07	.02	.05	32.
1	0900	108	.15	.07	.08	20.	1	2110	254	.08	.03	.05	32.
1	0905	109	.14	.07	.07	20.	1	2115	255	.07	.02	.05	32.
1	0910	110	.14	.07	.07	20.	1	2120	256	.08	.03	.05	32.
1	0915	111	.15	.07	.08	20.	1	2125	257	.08	.03	.05	32.
1	0920	112	.14	.07	.07	21.	1	2130	258	.07	.02	.05	32.
1	0925	113	.14	.07	.07	21.	1	2135	259	.08	.03	.05	32.
1	0930	114	.14	.06	.08	21.	1	2140	260	.07	.02	.05	32.
1	0935	115	.13	.06	.07	21.	1	2145	261	.08	.03	.05	32.
1	0940	116	.14	.06	.08	22.	1	2150	262	.07	.02	.05	32.
1	0945	117	.14	.06	.08	22.	1	2155	263	.07	.02	.05	32.
1	0950	118	.13	.06	.07	22.	1	2200	264	.08	.03	.05	32.
1	0955	119	.14	.06	.08	22.	1	2205	265	.07	.02	.05	32.
1	1000	120	.13	.06	.07	22.	1	2210	266	.08	.03	.05	32.
1	1005	121	.14	.06	.08	23.	1	2215	267	.07	.02	.05	32.
1	1010	122	.13	.06	.07	23.	1	2220	268	.07	.02	.05	32.
1	1015	123	.13	.06	.07	23.	1	2225	269	.08	.03	.05	32.
1	1020	124	.13	.06	.07	23.	1	2230	270	.07	.02	.05	32.
1	1025	125	.13	.06	.07	24.	1	2235	271	.07	.02	.05	32.
1	1030	126	.13	.06	.07	24.	1	2240	272	.07	.02	.05	32.
1	1035	127	.13	.06	.07	24.	1	2245	273	.08	.03	.05	32.
1	1040	128	.13	.06	.07	24.	1	2250	274	.07	.02	.05	32.
1	1045	129	.12	.05	.07	24.	1	2255	275	.07	.02	.05	32.
1	1050	130	.13	.06	.07	24.	1	2300	276	.07	.02	.05	32.
1	1055	131	.12	.05	.07	25.	1	2305	277	.07	.02	.05	32.
1	1100	132	.13	.06	.07	25.	1	2310	278	.07	.02	.05	32.
1	1105	133	.12	.05	.07	25.	1	2315	279	.07	.02	.05	32.
1	1110	134	.13	.06	.07	25.	1	2320	280	.07	.02	.05	32.
1	1115	135	.12	.05	.07	25.	1	2325	281	.08	.03	.05	32.
1	1120	136	.12	.05	.07	26.	1	2330	282	.07	.02	.05	32.
1	1125	137	.12	.05	.07	26.	1	2335	283	.07	.02	.05	32.
1	1130	138	.12	.05	.07	26.	1	2340	284	.07	.02	.05	32.
1	1135	139	.12	.05	.07	26.	1	2345	285	.07	.02	.05	32.
1	1140	140	.12	.05	.07	26.	1	2350	286	.07	.02	.05	32.
1	1145	141	.12	.05	.07	26.	1	2355	287	.07	.02	.05	32.
1	1150	142	.12	.05	.07	26.	2	0000	288	.06	.02	.04	32.
1	1155	143	.12	.05	.07	27.	2	0005	289	.07	.02	.05	32.
1	1200	144	.11	.05	.06	27.	2	0010	290	.07	.02	.05	32.
1	1205	145	.12	.05	.07	27.	2	0015	291	.07	.02	.05	32.
1	1210	146	.11	.05	.06	27.	2	0020	292	.07	.02	.05	32.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

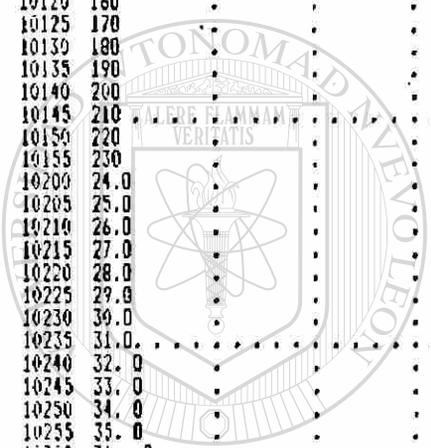
TOTAL RAINFALL = 60.69, TOTAL LOSS = 40.71, TOTAL EXCESS = 19.98

PEAK FLOW (CU M/S)	TIME (HR)	MAXIMUM AVERAGE FLOW			
		6-HR	24-HR	72-HR	24.25-HR
32.	20.00	32.	21.	21.	21.
	(CU M/S)	4.041	10.699	10.699	10.699
	(MM)	692.	1833.	1833.	1833.
	(1000 CU M)				

CUMULATIVE AREA = 171.30 SQ KM

STATION 1

DAHRMN PER	(D) OUTFLOW										0. (L) PRECIP. 2.	0. (X) EXCESS 1.	0. 0.		
	0.	4.	8.	12.	16.	20.	24.	28.	32.	36.					
10005 10															
10010 20															
10015 30															
10020 40															
10025 50															
10030 60															
10035 70															
10040 80															
10045 90															
10050 100															
10055 110															
10100 120															
10105 130															
10110 140															
10115 150															
10120 160															
10125 170															
10130 180															
10135 190															
10140 200															
10145 210															
10150 220															
10155 230															
10200 24.0															
10205 25.0															
10210 26.0															
10215 27.0															
10220 28.0															
10225 29.0															
10230 30.0															
10235 31.0															
10240 32.0															
10245 33.0															
10250 34.0															
10255 35.0															
10300 36.0															
10305 37.0															
10310 38.0															
10315 39.0															
10320 40.0															
10325 41.0															
10330 42.0															
10335 43.0															
10340 44.0															
10345 45.0															
10350 46.0															
10355 47.0															
10400 48.0															
10405 49.0															
10410 50.0															
10415 51.0															
10420 52.0															
10425 53.0															
10430 54.0															
10435 55.0															
10440 56.0															
10445 57.0															
10450 58.0															
10455 59.0															
10500 60.0															
10505 61.0															
10510 62.0															
10515 63.0															
10520 64.0															
10525 65.0															
10530 66.0															
10535 67.0															

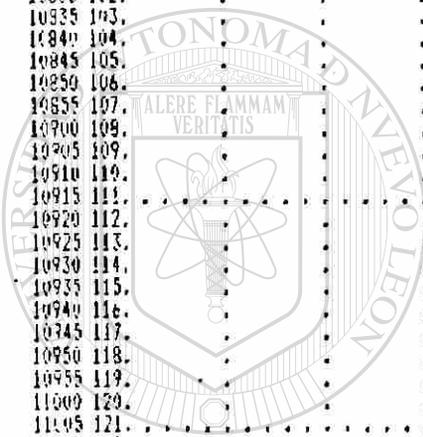


U A N L

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

10540 68.  
10545 69.  
10550 70.  
10555 71.  
10600 72.  
10605 73.  
10610 74.  
10615 75.  
10620 76.  
10625 77.  
10630 78.  
10635 79.  
10640 80.  
10645 81.  
10650 82.  
10655 83.  
10700 84.  
10705 85.  
10710 86.  
10715 87.  
10720 88.  
10725 89.  
10730 90.  
10735 91.  
10740 92.  
10745 93.  
10750 94.  
10755 95.  
10800 96.  
10805 97.  
10810 98.  
10815 99.  
10820 100.  
10825 101.  
10830 102.  
10835 103.  
10840 104.  
10845 105.  
10850 106.  
10855 107.  
10900 108.  
10905 109.  
10910 110.  
10915 111.  
10920 112.  
10925 113.  
10930 114.  
10935 115.  
10940 116.  
10945 117.  
10950 118.  
10955 119.  
11000 120.  
11005 121.  
11010 122.  
11015 123.  
11020 124.  
11025 125.  
11030 126.  
11035 127.  
11040 128.  
11045 129.  
11050 130.  
11055 131.  
11100 132.  
11105 133.  
11110 134.  
11115 135.  
11120 136.  
11125 137.  
11130 138.  
11135 139.  
11140 140.  
11145 141.  
11150 142.  
11155 143.  
11200 144.  
11205 145.  
11210 146.  
11215 147.  
11220 148.  
11225 149.  
11230 150.  
11235 151.  
11240 152.  
11245 153.  
11250 154.  
11255 155.

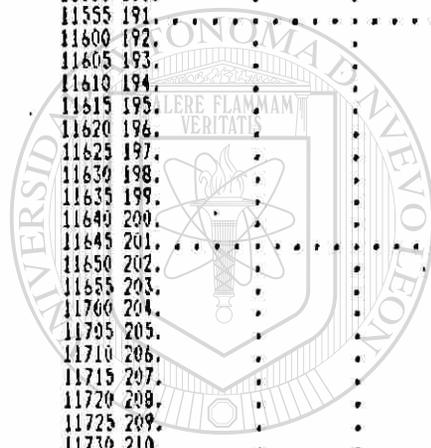


U A N L

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

11300 156.  
11305 157.  
11310 158.  
11315 159.  
11320 160.  
11325 161.  
11330 162.  
11335 163.  
11340 164.  
11345 165.  
11350 166.  
11355 167.  
11400 168.  
11405 169.  
11410 170.  
11415 171.  
11420 172.  
11425 173.  
11430 174.  
11435 175.  
11440 176.  
11445 177.  
11450 178.  
11455 179.  
11500 189.  
11505 181.  
11510 182.  
11515 183.  
11520 184.  
11525 185.  
11530 186.  
11535 187.  
11540 188.  
11545 189.  
11550 190.  
11555 191.  
11600 192.  
11605 193.  
11610 194.  
11615 195.  
11620 196.  
11625 197.  
11630 198.  
11635 199.  
11640 200.  
11645 201.  
11650 202.  
11655 203.  
11700 204.  
11705 205.  
11710 206.  
11715 207.  
11720 208.  
11725 209.  
11730 210.  
11735 211.  
11740 212.  
11745 213.  
11750 214.  
11755 215.  
11800 216.  
11805 217.  
11810 218.  
11815 219.  
11820 220.  
11825 221.  
11830 222.  
11835 223.  
11840 224.  
11845 225.  
11850 226.  
11855 227.  
11900 228.  
11905 229.  
11910 230.  
11915 231.  
11920 232.  
11925 233.  
11930 234.  
11935 235.  
11940 236.  
11945 237.  
11950 238.  
11955 239.  
12000 240.  
12005 241.  
12010 242.  
12015 243.



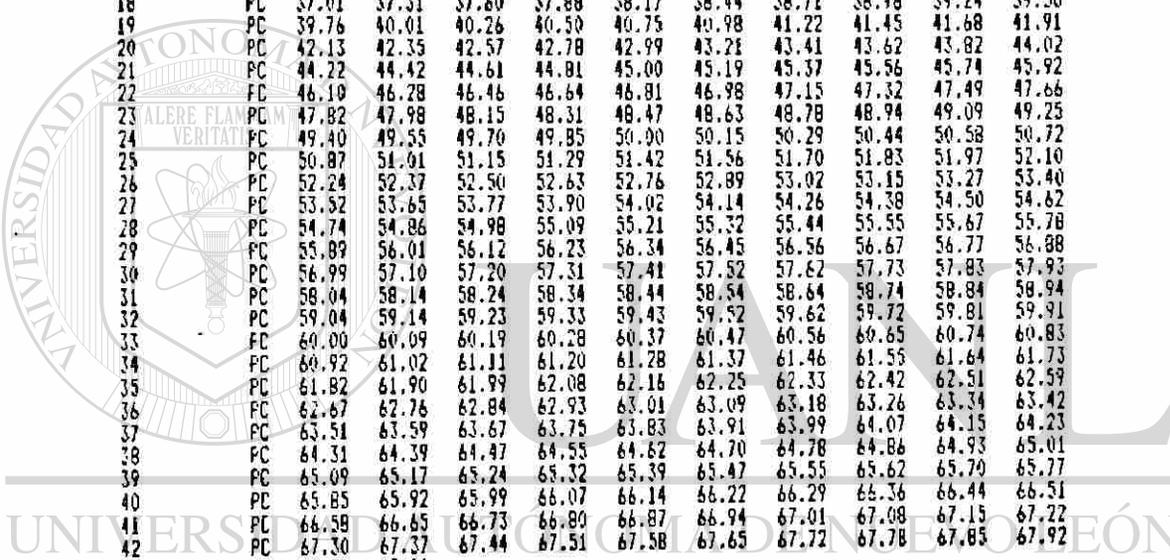
U A N L

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



LINE	ID	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	ID	SIMULACION HIDROLOGICA POR LA UNIDAD HIDROGRAFICA DE CLARCK									
2	ID	ESTACION METEOROLOGICA: Chupadero del Indio									
3	ID	PERIODO DE RETORNO TR = 1 AÑO									
4	ID	ANALISIS HIDROLOGICO: Arroyo Los Ranchos									
5	ID	LOCALIZACION: Cuenca Chupadero del Indio									
6	ID	FECHA : Agosto de 1997									
7	IM										
8	IT	5	0	5	292						
9	IO	1	2								
10	KX	2									
11	XM	Lamina efectiva de tormenta simulada									
12	BA	133.4									
13	P8	0									
14	PC	7.37	11.04	13.50	15.40	16.97	18.32	19.51	20.58	21.55	22.45
15	PC	23.28	24.05	24.78	25.47	26.12	26.74	27.33	27.90	28.44	28.96
16	PC	29.46	29.95	30.42	30.87	31.31	31.74	32.15	32.56	32.95	33.33
17	PC	33.70	34.07	34.42	34.77	35.11	35.44	35.77	36.09	36.40	36.71
18	PC	37.01	37.31	37.60	37.88	38.17	38.44	38.71	38.98	39.24	39.50
19	PC	39.76	40.01	40.26	40.50	40.75	41.08	41.22	41.45	41.68	41.91
20	PC	42.13	42.35	42.57	42.78	42.99	43.21	43.41	43.62	43.82	44.02
21	PC	44.22	44.42	44.61	44.81	45.00	45.19	45.37	45.56	45.74	45.92
22	FC	46.10	46.28	46.46	46.64	46.81	46.98	47.15	47.32	47.49	47.66
23	PC	47.82	47.98	48.15	48.31	48.47	48.63	48.78	48.94	49.09	49.25
24	PC	49.40	49.55	49.70	49.85	50.00	50.15	50.29	50.44	50.58	50.72
25	PC	50.87	51.01	51.15	51.29	51.42	51.56	51.70	51.83	51.97	52.10
26	PC	52.24	52.37	52.50	52.63	52.76	52.89	53.02	53.15	53.27	53.40
27	PC	53.52	53.65	53.77	53.90	54.02	54.14	54.26	54.38	54.50	54.62
28	PC	54.74	54.86	54.98	55.09	55.21	55.32	55.44	55.55	55.67	55.78
29	PC	55.89	56.01	56.12	56.23	56.34	56.45	56.56	56.67	56.77	56.88
30	PC	56.99	57.10	57.20	57.31	57.41	57.52	57.62	57.73	57.83	57.93
31	PC	58.04	58.14	58.24	58.34	58.44	58.54	58.64	58.74	58.84	58.94
32	PC	59.04	59.14	59.23	59.33	59.43	59.52	59.62	59.72	59.81	59.91
33	FC	60.00	60.09	60.19	60.28	60.37	60.47	60.56	60.65	60.74	60.83
34	FC	60.92	61.02	61.11	61.20	61.28	61.37	61.46	61.55	61.64	61.73
35	PC	61.82	61.90	61.99	62.08	62.16	62.25	62.33	62.42	62.51	62.59
36	FC	62.67	62.76	62.84	62.93	63.01	63.09	63.18	63.26	63.34	63.42
37	PC	63.51	63.59	63.67	63.75	63.83	63.91	63.99	64.07	64.15	64.23
38	FC	64.31	64.39	64.47	64.55	64.62	64.70	64.78	64.86	64.93	65.01
39	PC	65.09	65.17	65.24	65.32	65.39	65.47	65.55	65.62	65.70	65.77
40	PC	65.85	65.92	65.99	66.07	66.14	66.22	66.29	66.36	66.44	66.51
41	PC	66.59	66.65	66.73	66.80	66.87	66.94	67.01	67.08	67.15	67.22
42	PC	67.30	67.37	67.44	67.51	67.58	67.65	67.72	67.78	67.85	67.92
43	PC	67.99	68.06								
44	LS	86.75									
45	UC	2.39	4.73								
46	ZZ										



```

FLOOD HYDROGRAPH PACKAGE (HEC-1)
SEPTEMBER 1990
VERSION 4.0
RUN DATE 09/12/1997 TIME 20:06:47

```

```

U.S. ARMY CORPS OF ENGINEERS
HYDROLOGIC ENGINEERING CENTER
609 SECOND STREET
DAVIS, CALIFORNIA 95616
(916) 756-1104

```

```

SIMULACION HIDROLOGICA POR LA UNIDAD HIDROGRAFICA DE CLARCK
ESTACION METEOROLOGICA: Chupadero del Indio
PERIODO DE RETORNO TR = 1 AÑO
ANALISIS HIDROLOGICO: Arroyo Los Ranchos
LOCALIZACION: Cuenca Chupadero del Indio
FECHA : Agosto de 1997

```

```

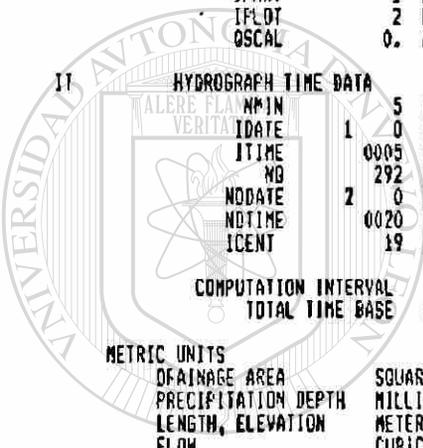
9 10      OUTPUT CONTROL VARIABLES
          IPRT 1 PRINT CONTROL
          IPLOT 2 PLOT CONTROL
          OSCAL 0. HYDROGRAPH PLOT SCALE

11      HYDROGRAPH TIME DATA
          NMIN 5 MINUTES IN COMPUTATION INTERVAL
          IDATE 1 0 STARTING DATE
          ITIME 0005 STARTING TIME
          ND 292 NUMBER OF HYDROGRAPH ORDINATES
          NDATE 2 0 ENDING DATE
          NDTIME 0020 ENDING TIME
          ICENT 19 CENTURY MARK

          COMPUTATION INTERVAL .08 HOURS
          TOTAL TIME BASE 24.25 HOURS

METRIC UNITS
DRAINAGE AREA SQUARE KILOMETERS
PRECIPITATION DEPTH MILLIMETERS
LENGTH, ELEVATION METERS
FLOW CUBIC METERS PER SECOND
STORAGE VOLUME CUBIC METERS
SURFACE AREA SQUARE METERS
TEMPERATURE DEGREES CELSIUS

```



# UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCION GENERAL DE BIBLIOTECAS

TOTAL RAINFALL = 60.69, TOTAL LOSS = 30.15, TOTAL EXCESS = 30.54

PEAK FLOW (CU M/S)	TIME (HR)	MAXIMUM AVERAGE FLOW			
		6-HR	24-HR	72-HR	24.25-HR
54.	8.08	53.	49.	39.	39.
		(CU M/S)	(CU M/S)	(CU M/S)	(CU M/S)
		(MM)	(MM)	(MM)	(MM)
		(1000 CU M)	(1000 CU M)	(1000 CU M)	(1000 CU M)
		1145.	3438.	3438.	3438.

CUMULATIVE AREA = 133.40 SQ KM

LINE	ID	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	ID	SIMULACION HIDROLOGICA POR LA UNIDAD HIDROGRAFICA DE CLARCK									
2	ID	ESTACION METEOROLOGICA: Icamole									
3	ID	PERIODO DE RETORNO TR = 1 AÑO									
4	ID	ANALISIS HIDROLOGICO: Arroyo Los Carrizos									
5	ID	LOCALIZACION: Cuenca Carrizos									
6	ID	FECHA : Agosto de 1997									
7	JR										
8	JT	5	0	5	166						
9	ID	1	2								
10	KK	3									
11	KM	Lamina efectiva de tormenta simulada									
12	RA	82.60									
13	FR	0									
14	FC	5.84	8.74	10.68	12.18	13.43	14.50	15.44	16.28	17.06	17.76
15	PC	18.42	19.03	19.61	20.16	20.67	21.16	21.63	22.08	22.51	22.92
16	PC	23.32	23.70	24.07	24.43	24.78	25.12	25.45	25.76	26.08	26.38
17	PC	26.67	26.96	27.24	27.52	27.79	28.05	28.31	28.56	28.81	29.05
18	PC	29.29	29.53	29.76	29.98	30.20	30.42	30.64	30.85	31.06	31.26
19	PC	31.47	31.67	31.86	32.06	32.25	32.43	32.62	32.80	32.98	33.16
20	PC	32.99	33.16	33.34	33.52	33.69	33.86	34.03	34.19	34.36	34.52
21	FC	34.68	34.84	35.00	35.15	35.31	35.46	35.61	35.76	35.91	36.06
22	PC	36.20	36.34	36.49	36.63	36.77	36.91	37.04	37.18	37.32	37.45
23	PC	37.59	37.71	37.85	37.97	38.10	38.23	38.36	38.48	38.61	38.73
24	FC	38.85	38.97	39.10	39.22	39.33	39.45	39.57	39.69	39.80	39.92
25	PC	40.03	40.14	40.26	40.37	40.49	40.59	40.70	40.81	40.91	41.02
26	PC	41.13	41.23	41.34	41.44	41.55	41.65	41.75	41.86	41.96	42.06
27	PC	42.16	42.26	42.36	42.46	42.56	42.65	42.75	42.85	42.94	43.04
28	FC	43.13	43.23	43.32	43.41	43.51	43.60	43.69	43.78	43.87	43.97
29	PC	44.06	44.14	44.23	44.32	44.41	44.50	44.59	44.67	44.76	44.85
30	PC	44.93	45.02	45.10	45.19	45.27	45.35				
31	LS	85.40									
32	UC	2.22	4.56								
33	TT										

```

FLOOD HYDROGRAPH PACKAGE (HEC-1)
SEPTEMBER 1990
VERSION 4.0

RUN DATE 09/12/1997 TIME 19:40:51

```

```

U.S. ARMY CORPS OF ENGINEERS
HYDROLOGIC ENGINEERING CENTER
609 SECOND STREET
DAVIS, CALIFORNIA 95616
(916) 756-1104

```

SIMULACION HIDROLOGICA POR LA UNIDAD HIDROGRAFICA DE CLARCA  
 ESTACION METEOROLOGICA: Icamole  
 PERIODO DE RETORNO TR = 1 AÑO  
 ANALISIS HIDROLOGICO: Arroyo Los Carrizos  
 LOCALIZACION: Cuenca Carrizos  
 FECHA : Agosto de 1997

```

9 10 OUTPUT CONTROL VARIABLES
      IFENT 1 PRINT CONTROL
      IFPLOT 2 PLOT CONTROL
      ICSAL 0 HYDROGRAPH PLOT SCALE

IT HYDROGRAPH TIME DATA
   NMIN 5 MINUTES IN COMPUTATION INTERVAL
   IDATE 1 0 STARTING DATE
   ITIME 0005 STARTING TIME
   NO 166 NUMBER OF HYDROGRAPH ORDINATES
   NDATE 1 0 ENDING DATE
   NDTIME 1350 ENDING TIME
   ICEMT 19 CENTURY MARK

COMPUTATION INTERVAL .08 HOURS
TOTAL TIME BASE 13.75 HOURS

```

METRIC UNITS  
 DRAINAGE AREA SQUARE KILOMETERS  
 PRECIPITATION DEPTH MILLIMETERS  
 LENGTH, ELEVATION METERS  
 FLOW CURIC METERS PER SECOND  
 STORAGE VOLUME CURIC METERS  
 SURFACE AREA SQUARE METERS  
 TEMPERATURE DEGREES CELSIUS

TOTAL RAINFALL = 39.51, TOTAL LOSS = 26.59, TOTAL EXCESS = 12.92

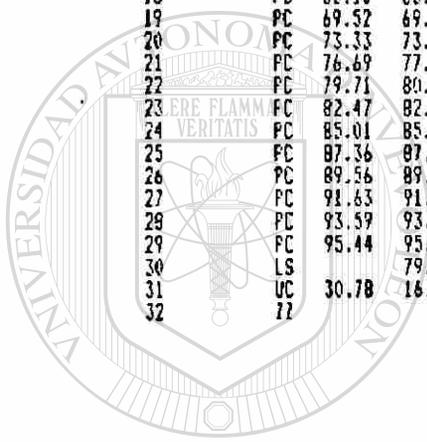
PEAK FLOW (CU M/S)	TIME (HR)	MAXIMUM AVERAGE FLOW			
		6-HR	24-HR	72-HR	13.75-HR
20.	9.50	19.	14.	14.	14.
		(MM)	8.515	8.515	8.515
		(1000 CU M)	420.	703.	703.

CUMULATIVE AREA = 82.60 SQ KM

```

LINE      ID.....1.....2.....3.....4.....5.....6.....7.....8.....9.....10
1         ID  SIMULACION HIDROLOGICA POR LA UNIDAD HIDROGRAFICA DE CLARCK
2         ID  ESTACION METEOROLOGICA: Saltillo
3         ID  PERIODO DE RETORNO TR = 1 AÑO
4         ID  ANALISIS HIDROLOGICO: Rio Patos
5         ID  LOCALIZACION: Cuenca Saltillo-Paredon
6         ID  FECHA : Agosto de 1997
7         IM
8         IT      20      0      20      156
9         IO      1      2

10        IK      4
11        IM  Lamina efectiva de tormenta simulada
12        PA  9925.1
13        PB      0
14        PC  17.49  23.38  27.32  30.38  32.90  35.07  36.98  38.70  40.26  41.70
15        PC  43.04  44.28  45.45  46.56  47.61  48.60  49.55  50.46  51.33  52.17
16        PC  52.98  53.76  54.51  55.24  55.95  56.63  57.30  57.94  58.58  59.19
17        PC  59.79  60.37  60.95  61.50  62.05  62.59  63.11  63.62  64.13  64.62
18        PC  65.10  65.58  66.05  66.51  66.96  67.40  67.84  68.27  68.69  69.11
19        PC  69.52  69.92  70.32  70.72  71.10  71.49  71.86  72.24  72.60  72.97
20        PC  73.33  73.68  74.03  74.38  74.72  75.05  75.39  75.72  76.05  76.37
21        PC  76.69  77.00  77.32  77.63  77.93  78.24  78.54  78.84  79.13  79.42
22        PC  79.71  80.00  80.28  80.57  80.84  81.12  81.40  81.67  81.94  82.20
23        PC  82.47  82.73  82.99  83.25  83.51  83.76  84.02  84.27  84.51  84.76
24        PC  85.01  85.25  85.49  85.73  85.97  86.21  86.44  86.67  86.90  87.13
25        PC  87.36  87.59  87.81  88.04  88.26  88.48  88.70  88.92  89.13  89.35
26        PC  89.56  89.78  89.99  90.20  90.41  90.61  90.82  91.02  91.23  91.43
27        PC  91.63  91.83  92.03  92.23  92.43  92.62  92.82  93.01  93.20  93.40
28        PC  93.59  93.78  93.96  94.15  94.34  94.52  94.71  94.89  95.08  95.26
29        PC  95.44  95.62  95.80  95.98  96.15  96.33
30        LS      79.63
31        UC      30.78
32        ZZ      16.94
    
```



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN  
 DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

```

FLOOD HYDROGRAPH PACKAGE (HEC-1)
SEPTEMBER 1990
VERSION 4.0

RUN DATE 09/12/1997 TIME 19:51:54

```

```

U.S. ARMY CORPS OF ENGINEERS
HYDROLOGIC ENGINEERING CENTER
609 SECOND STREET
DAVIS, CALIFORNIA 95616
(916) 756-1104

```

```

SIMULACION HIDROLOGICA POR LA UNIDAD HIDROGRAFICA DE CLARCK
ESTACION METEOROLOGICA: Saltillo
PERIODO DE RETORNO TR = 1 AÑO
ANALISIS HIDROLOGICO: Rio Patos
LOCALIZACION: Cuenca Saltillo-Paredon
FECHA : Agosto de 1997

```

9 10 OUTPUT CONTROL VARIABLES

```

IFRNT 1 PRINT CONTROL
IFLOT 2 PLOT CONTROL
OSCAL 0. HYDROGRAPH PLOT SCALE

```

11 HYDROGRAPH TIME DATA

```

MMIN 20 MINUTES IN COMPUTATION INTERVAL
IDATE 1 0 STARTING DATE
ITIME 0020 STARTING TIME
NO 156 NUMBER OF HYDROGRAPH ORDINATES
HDATE 3 0 ENDING DATE
NDATE 0400 ENDING TIME
ICENT 19 CENTURY MARK

```

```

COMPUTATION INTERVAL .33 HOURS
TOTAL TIME BASE 51.67 HOURS

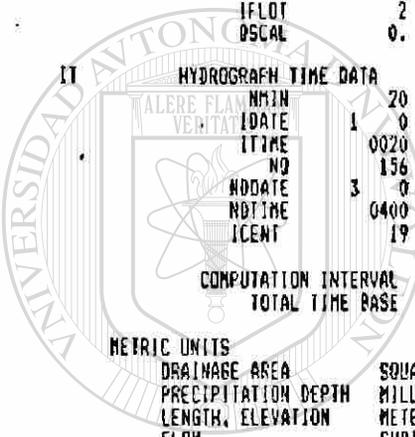
```

METRIC UNITS

```

DRAINAGE AREA SQUARE KILOMETERS
PRECIPITATION DEPTH MILLIMETERS
LENGTH, ELEVATION METERS
FLOW CUBIC METERS PER SECOND
STORAGE VOLUME CUBIC METERS
SURFACE AREA SQUARE METERS
TEMPERATURE DEGREES CELSIUS

```



U A N L

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



TOTAL RAINFALL = 78.84, TOTAL LOSS = 45.70, TOTAL EXCESS = 33.14

PEAK FLOW (CU M/S)	TIME (HR)		MAXIMUM AVERAGE FLOW			
			6-HR	24-HR	72-HR	51.67-HR
1589.	44.00	(CU M/S)	1586.	1487.	888.	888.
		(MM)	3.452	12.943	16.640	16.640
		(1000 CU M)	34258.	128460.	165158.	165158.

CUMULATIVE AREA = 9925.10 SQ KM



**\* GRÁFICAS DE INTERPRETACIÓN DE PRUEBA DE BOMBEO**

UANL

---

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

## **PRUEBA DE BOMBEO**

### **DATOS GENERALES**

**LOCALIDAD:** Rancho San Fernando

**MUNICIPIO:** Ramos Arizpe

**ESTADO:** Coahuila

**PROPIETARIO:** Francisco García Cirilo

**FECHA DE PRUEBA:** 5 de julio de 1997

**PRUEBA REALIZADA POR:** Eugenio Hdez. Rico y Fco. Torres C.

### **INFORMACIÓN DEL APROVECHAMIENTO**

#### **POZO DE EXTRACCIÓN**

**DIÁMETRO DE PERFORACIÓN:** 16 pulg

**DIÁMETRO DEL ADEME:** 14 pulg

**DIÁMETRO DE SUCCIÓN:** 8 pulg

**DIÁMETRO DE DESCARGA:** 8 pulg

**PROFUNDIDAD TOTAL DE PERFORACIÓN:** 91.00 m

**LONGITUD DE COLUMNA DE BOMBEO:** 46.00 m

**HP DEL MOTOR:** 75

**NÍVEL ESTÁTICO:** 31.40 m

**NÍVEL DINAMICO:** 33.18 m

**GASTO DE EXTRACCIÓN:** 51 lps

#### **POZO DE OBSERVACIÓN**

**DIÁMETRO DE PERFORACIÓN:** 16 pulg

**DIÁMETRO DEL ADEME:** 14 pulg

**PROFUNDIDAD TOTAL DE PERFORACIÓN:** 45.00 m

**NÍVEL ESTÁTICO:** 30.85 m

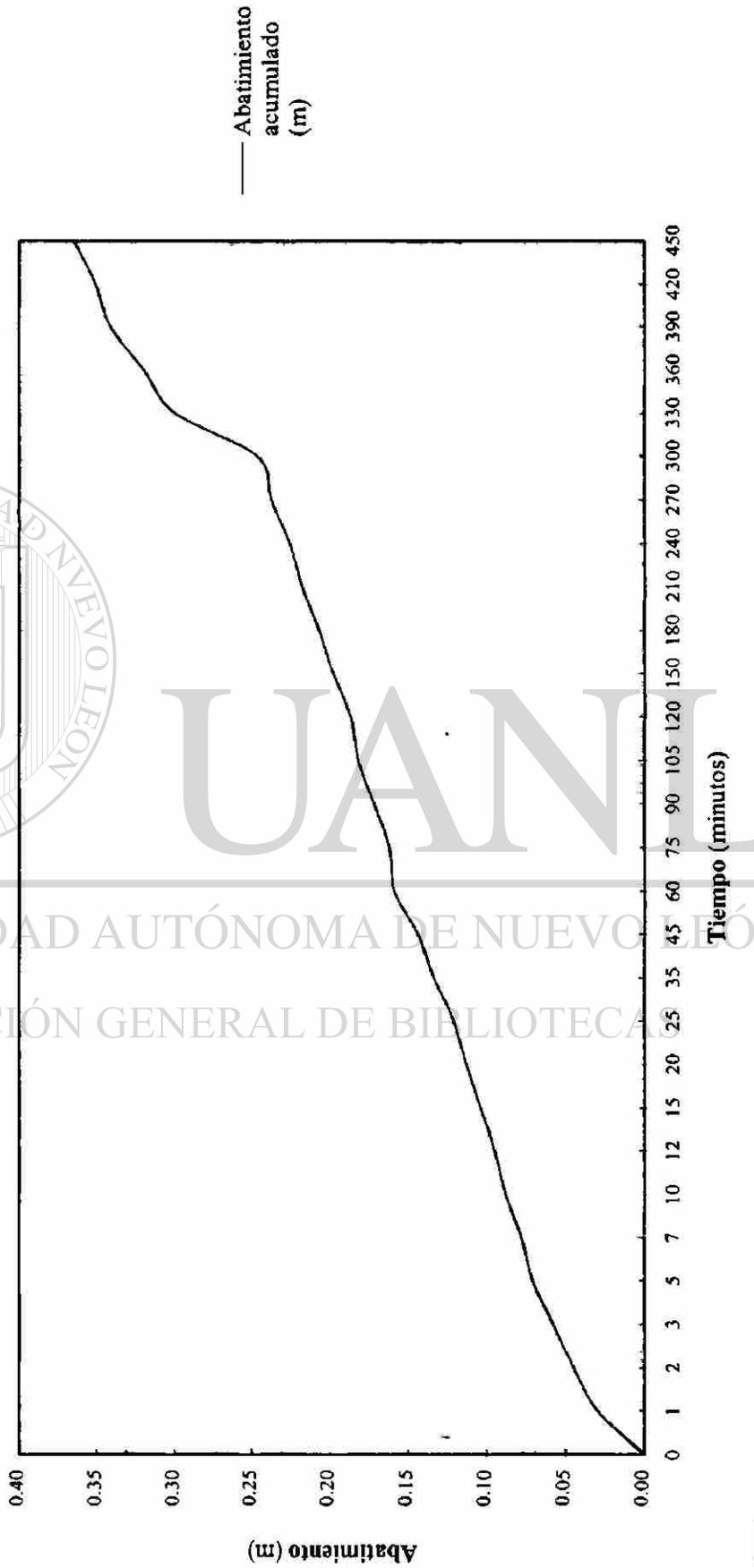
**NÍVEL DE ABATIMIENTO:** 31.22 m

**DISTANCIA AL POZO DE EXTRACCIÓN:** 53.00 m

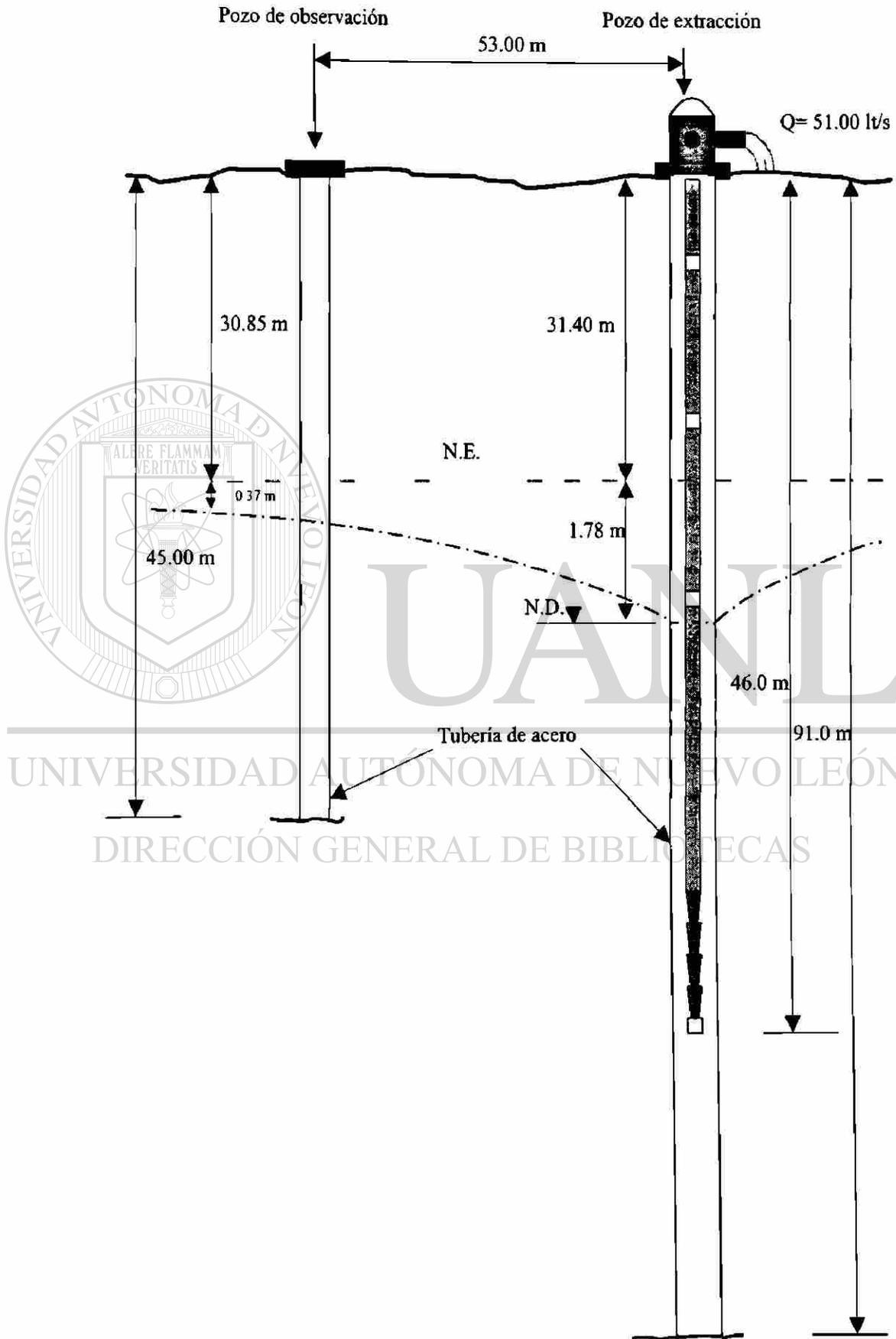
REGISTRO DE PRUEBA DE BOMBEO (POZO DE OBSERVACIÓN)					
Nº de Lectura	Tiempo (min)	Profundidad del Nivel Estático (m)	Profundidad del Nivel de abatimiento (m)	Abatimiento en cada lectura (m)	Abatimiento acumulado (m)
1	0	30.850	-	-	-
2	1		30.880	0.030	0.030
3	2		30.895	-0.015	0.045
4	3		30.908	-0.013	0.058
5	5		30.921	-0.013	0.071
6	7		30.928	-0.007	0.078
7	10		30.938	-0.010	0.088
8	12		30.945	-0.007	0.095
9	15		30.954	-0.009	0.104
10	20		30.963	-0.009	0.113
11	25		30.971	-0.008	0.121
12	35		30.984	-0.013	0.134
13	45		30.994	-0.010	0.144
14	60		31.009	-0.015	0.159
15	75		31.012	-0.003	0.162
16	90		31.022	-0.010	0.172
17	105		31.032	-0.010	0.182
18	120		31.037	-0.005	0.187
19	150		31.048	-0.011	0.198
20	180		31.057	-0.009	0.207
21	210		31.068	-0.011	0.218
22	240		31.076	-0.008	0.226
23	270		31.088	-0.012	0.238
24	300		31.097	-0.009	0.247
25	330		31.150	-0.053	0.300
26	360		31.170	-0.020	0.320
27	390		31.191	-0.021	0.341
28	420		31.201	-0.010	0.351
29	450		31.215	-0.014	0.365



**PRUEBA DE BOMBEO  
(POZO SAN FERNANDO)**

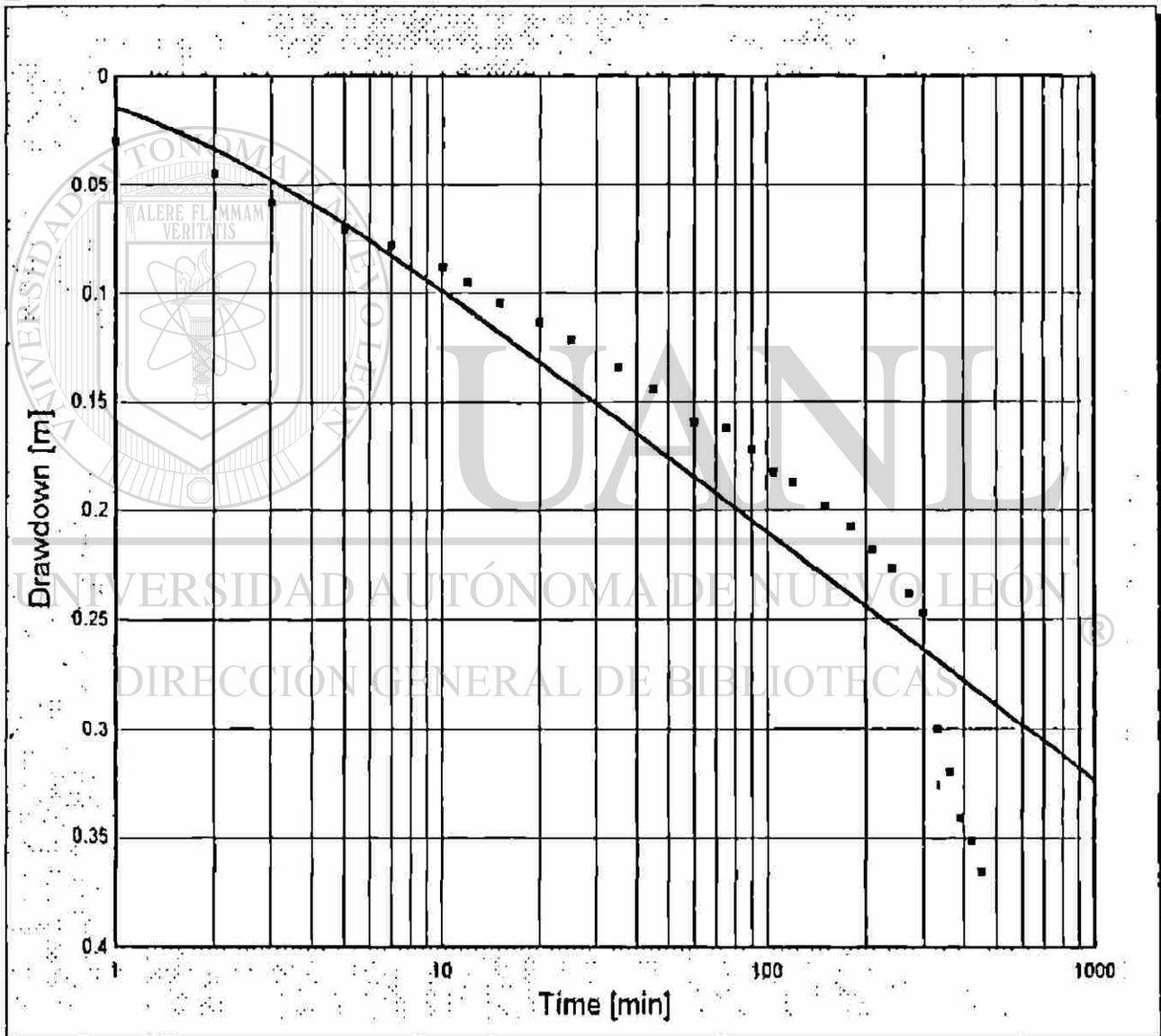


# PRUEBA DE BOMBEO



## Pumping Test

Well Ident		Name	
<b>P. PAREDON</b>			
Obs. Well Distance [m] <b>53.00</b>	Average Pump. Rate [m <sup>3</sup> /day] <b>51.000</b>	Duration [min] <b>450.00</b>	Initial Sat. Thickness [m]
<b>Results</b>			
Transmissivity [m <sup>2</sup> /day] <b>9333</b>	Storage Coefficient <b>0.0074453</b>	Leakance [1/day]	Estimation Error [m] <b>0.03</b>
Fit Method		<b>Jacob Method</b>	



## Pumping Test

Well Ident

**P. PAREDON**

Name

Obs. Well Distance [m]

**53.00**

Average Pump. Rate [m3/day]

**51.000**

Duration [min]

**450.00**

Initial Sat. Thickness [m]

### Results

Transmissivity [m2/day]

**7210**

Storage Coefficient

**0.015436**

Leakance [1/day]

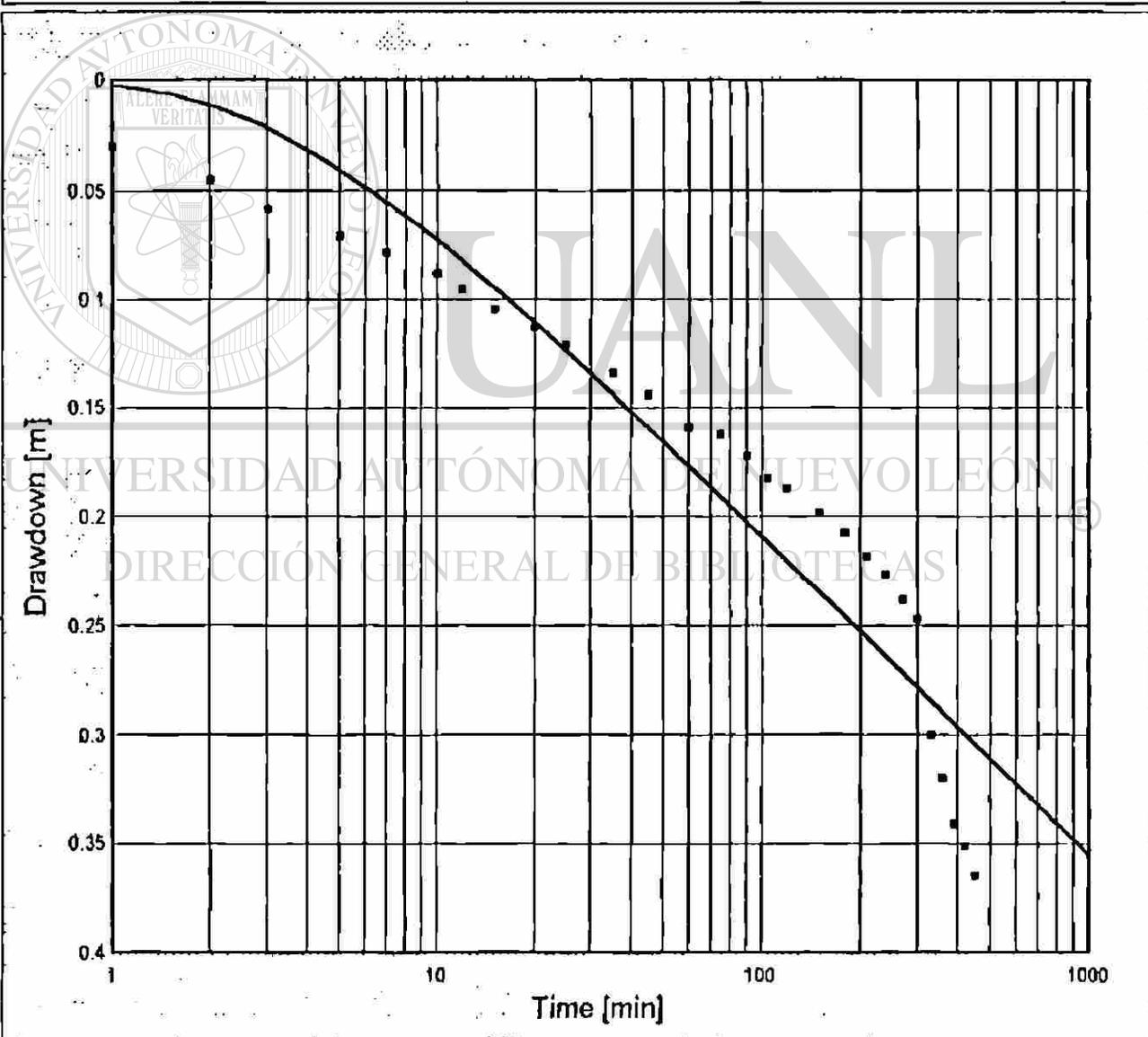
**0.00000017488**

Estimation Error [m]

**0.03**

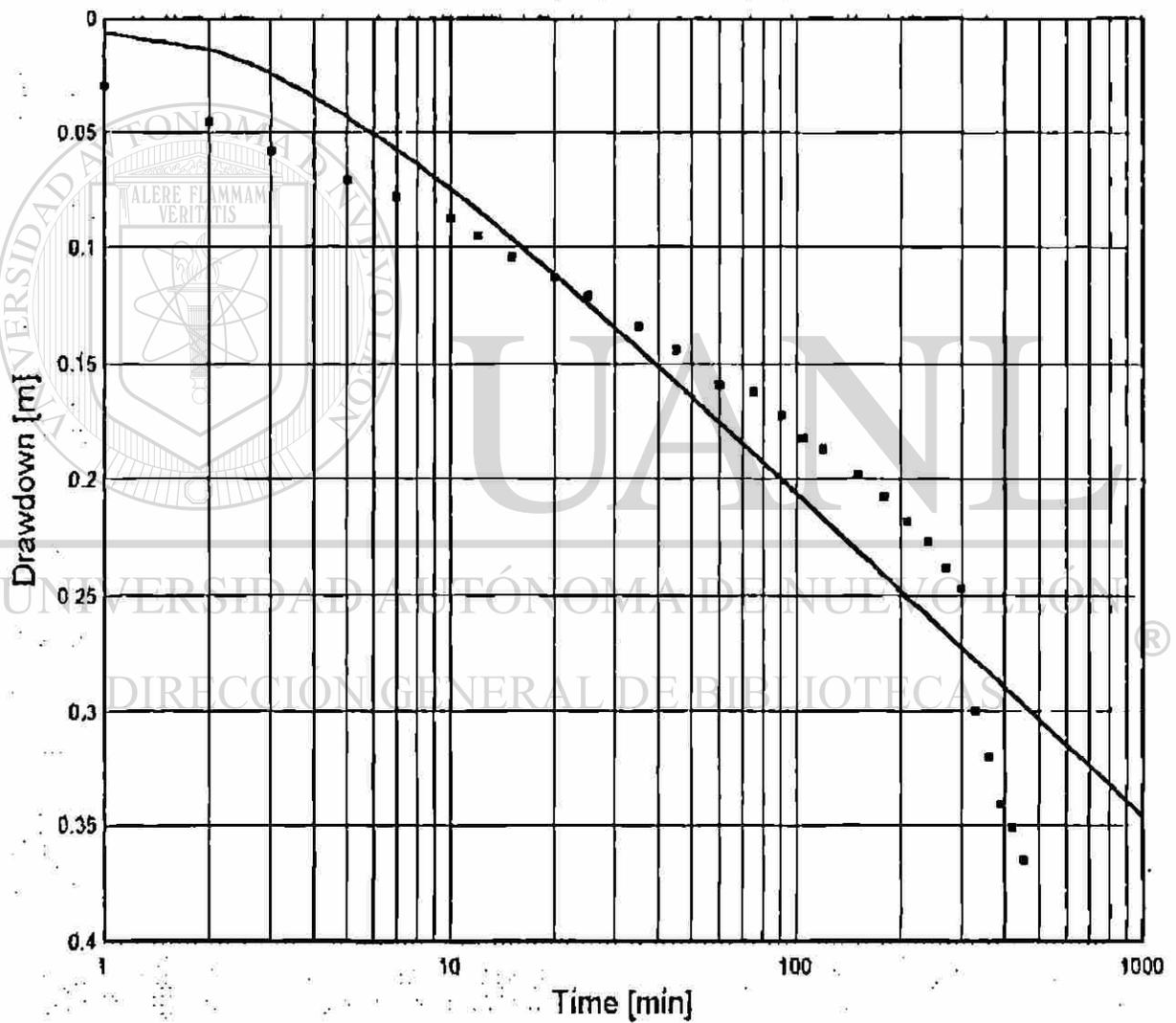
Fit Method

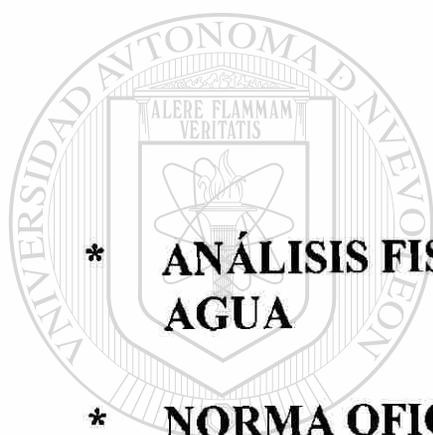
**Hantush Method**



## Pumping Test

Well Ident		Name	
<b>P. PAREDON</b>			
Obs. Well Distance [m] <b>53.00</b>	Average Pump. Rate [m3/day] <b>51.000</b>	Duration [min] <b>450.00</b>	Initial Sat. Thickness [m] 
<b>Results</b>			
Transmissivity [m2/day] <b>7556</b>	Storage Coefficient <b>0.014457</b>	Leakance [1/day] 	Estimation Error [m] <b>0.03</b>
Fit Method		<b>Theis Method</b>	





## **ANEXO B**

**\* ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS DE MUESTRAS DE AGUA**

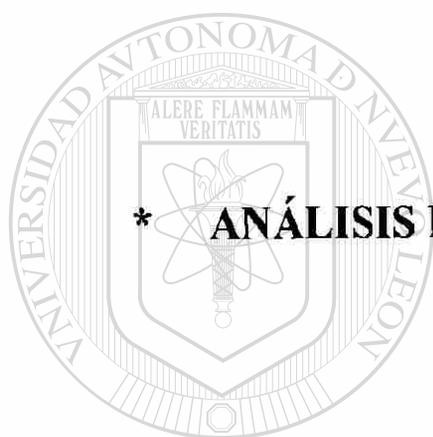
**\* NORMA OFICIAL MEXICANA (NOM-127-SSA1-1996)**

---

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



**\* ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS DE MUESTRAS DE  
AGUA**

UANL

---

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

®

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**  
**INSTITUTO DE INGENIERÍA CIVIL**  
**MAESTRÍA EN CIENCIAS CON ESPECIALIDAD EN HIDROLOGÍA SUBTERRÁNEA**

**ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DEL AGUA**

**NOMBRE DE LA TESIS:**

"Comportamiento hidráulico y geoquímico del acuífero granular de la cuenca de Paredón-Icamole, entre los estados de Nuevo León y Coahuila, en México"

TESISTA: Eugenio Hernández Rico

ASESOR INTERNO DE TESIS : M. C. Víctor M. Aguilera R.

ASESOR EXTERNO DE TESIS : Dr. Juan M. Rodríguez Mtz.

MUESTRA N° : 1

N° Y TIPO DE FUENTE : 1.- Pozo

UBICACIÓN: Rcho. San Francisco

MUNICIPIO: Ramos Arizpe

ESTADO : Coahuila

FECHA DE MUESTREO : 3 de Julio de 1996

FECHA DE ANÁLISIS : 4 de Julio de 1996

MUESTRA TOMADA POR : Ing. Fco. Torres Cerda e Ing. Eugenio H. Rico

**DETERMINACIONES EN CAMPO**

TEMPERATURA: 28 °C      pH : 6.5

**DETERMINACIONES EN LABORATORIO**

pH : 6.5	DUREZA TOTAL :	1800	mg/l	CaCO <sub>3</sub>
CONDUCTIVIDAD : 3650 umhos/cm	DUREZA CALCICA :	1010	mg/l	CaCO <sub>3</sub>
STD : 3860 mg/l	DUREZA MAGNÉSICA :	790	mg/l	CaCO <sub>3</sub>
TURBIEDAD : 1.5 mg/l SiO <sub>2</sub>	ALCALINIDAD TOTAL :	235	mg/l	CaCO <sub>3</sub>

**CACIONES**

Calcio (Ca) :	404.20	mg/l
Magnesio (Mg) :	191.97	mg/l
Sodio (Na) :	300.00	mg/l
Hierro (Fe) :	0.00	mg/l

**ANIONES**

Bicarbonatos (HCO <sub>3</sub> ) :	286.70	mg/l
Sulfatos (SO <sub>4</sub> ) :	1589.00	mg/l
Nitrato (NO <sub>3</sub> ) :	2.50	mg/l
Cloruro (Cl) :	430.00	mg/l

**OTRAS DETERMINACIONES**

Silice (SiO<sub>2</sub>) : 20.70 mg/l

Relación de Adsorción de Sodio (RAS) : 3

**PARAMETROS CALCULADOS**

CACIONES	meq/l	% meq/l	ANIONES	meq/l	% meq/l
Calcio (Ca) :	20.23	41.12	Bicarbonatos (HCO <sub>3</sub> ) :	4.61	9.37
Magnesio (Mg) :	15.79	32.09	Sulfatos (SO <sub>4</sub> ) :	31.71	64.44
Sodio (Na) :	13.18	26.79	Nitrato (NO <sub>3</sub> ) :	0.04	0.08
Hierro (Fe) :	0.00	0.00	Cloruro (Cl) :	12.85	26.11
suma	49.20	100.00	suma	49.21	100.00

Los análisis se efectuaron siguiendo los procedimientos establecidos en las normas oficiales mexicanas y los procedimientos de los métodos estandar para análisis de agua de la APHA, AWWA y WPCF.

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**  
 INSTITUTO DE INGENIERÍA CIVIL  
 MAESTRÍA EN CIENCIAS CON ESPECIALIDAD EN HIDROLOGÍA SUBTERRÁNEA

**ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DEL AGUA**

**NOMBRE DE LA TESIS:**

"Comportamiento hidráulico y geoquímico del acuífero granular de la cuenca de Paredón-Icamole, entre los estados de Nuevo León y Coahuila, en México"

**TESISTA:** Eugenio Hernández Rico

**ASESOR INTERNO DE TESIS :** M. C. Victor M. Aguilera R.

**ASESOR EXTERNO DE TESIS :** Dr. Juan M. Rodríguez Mtz.

**MUESTRA N° :** 2

**N° Y TIPO DE FUENTE :** 2.- Pozo

**UBICACIÓN:** Rcho. San Ignacio

**MUNICIPIO:** Ramos Arizpe

**ESTADO :** Coahuila

**FECHA DE MUESTREO :** 3 de Julio de 1996

**FECHA DE ANÁLISIS :** 4 de Julio de 1996

**MUESTRA TOMADA POR :** Ing. Fco. Torres Cerda e Ing. Eugenio H. Rico

**DETERMINACIONES EN CAMPO**

**TEMPERATURA:** 28 °C      **pH :** 6.6

**DETERMINACIONES EN LABORATORIO**

<b>pH :</b> 6.8	<b>DUREZA TOTAL :</b> 1760	<b>mg/l CaCO<sub>3</sub></b>
<b>CONDUCTIVIDAD :</b> 3600 umhos/cm	<b>DUREZA CALCICA :</b> 940	<b>mg/l CaCO<sub>3</sub></b>
<b>STD :</b> 3240 mg/l	<b>DUREZA MAGNESICA :</b> 820	<b>mg/l CaCO<sub>3</sub></b>
<b>TURBIEDAD :</b> 6,3 mg/l SiO <sub>2</sub>	<b>ALCALINIDAD TOTAL :</b> 235	<b>mg/l CaCO<sub>3</sub></b>

**CATIONES**

<b>Calcio (Ca) :</b>	376.75	<b>mg/l</b>
<b>Magnesio (Mg) :</b>	199.30	<b>mg/l</b>
<b>Sodio (Na) :</b>	280.00	<b>mg/l</b>
<b>Fierro (Fe) :</b>	0.00	<b>mg/l</b>

**ANIONES**

<b>Bicarbonatos (HCO<sub>3</sub>) :</b>	286.75	<b>mg/l</b>
<b>Sulfatos (SO<sub>4</sub>) :</b>	1520.50	<b>mg/l</b>
<b>Nitrato (NO<sub>3</sub>) :</b>	2.50	<b>mg/l</b>
<b>Cloruro (Cl) :</b>	336.00	<b>mg/l</b>

**OTRAS DETERMINACIONES**

**Silice (SiO<sub>2</sub>) :** 20.50 **mg/l**

**Relación de Adsorción de Sodio (RAS) :** 2,9

**PARAMETROS CALCULADOS**

CATIONES	meq/l	% meq/l	ANIONES	meq l	% meq/l
Calcio (Ca) :	18.25	40.00	Bicarbonatos (HCO <sub>3</sub> ) :	4.73	10.37
Magnesio (Mg) :	15.31	33.55	Sulfatos (SO <sub>4</sub> ) :	30.97	67.89
Sodio (Na) :	12.07	26.45	Nitrato (NO <sub>3</sub> ) :	0.04	0.09
Fierro (Fe) :	0.00	0.00	Cloruro (Cl) :	9.88	21.66
suma	45.63	100.00	suma	45.62	100.00

Los análisis se efectuarán siguiendo los procedimientos establecidos en las normas oficiales mexicanas y los procedimientos de los métodos estandar para análisis de agua de la APHA, AWWA y WPCF.

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**  
**INSTITUTO DE INGENIERÍA CIVIL**  
**MAESTRÍA EN CIENCIAS CON ESPECIALIDAD EN HIDROLOGÍA SUBTERRÁNEA**

**ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DEL AGUA**

**NOMBRE DE LA TESIS:**

"Comportamiento hidráulico y geoquímico del acuífero granular de la cuenca de Paredón-Icamole, entre los estados de Nuevo León y Coahuila, en México"

TESISTA: Eugenio Hernández Rico

ASESOR INTERNO DE TESIS : M. C. Víctor M. Aguilera R.

ASESOR EXTERNO DE TESIS : Dr. Juan M. Rodríguez Mtz.

MUESTRA N° : 3

N° Y TIPO DE FUENTE : 5.- Pozo

UBICACIÓN: Rcho. San Ignacio

MUNICIPIO: Ramos Arizpe

ESTADO : Coahuila

FECHA DE MUESTREO : 3 de Julio de 1996

FECHA DE ANÁLISIS : 4 de Julio de 1996

MUESTRA TOMADA POR : Ing. Fco. Torres Cerda e Ing. Eugenio H. Rico

**DETERMINACIONES EN CAMPO**

TEMPERATURA: 29 °C      pH : 6.8

**DETERMINACIONES EN LABORATORIO**

pH : 6.9	DUREZA TOTAL :	1520	mg/l CaCO <sub>3</sub>
CONDUCTIVIDAD : 3500 umhos/cm	DUREZA CALCICA :	880	mg/l CaCO <sub>3</sub>
STD : 3250 mg/l	DUREZA MAGNESICA :	640	mg/l CaCO <sub>3</sub>
TURBIEDAD : 4,7 mg/l SiO <sub>2</sub>	ALCALINIDAD TOTAL :	235	mg/l CaCO <sub>3</sub>

**CACIONES**

Calcio (Ca) :	352.70	mg/l
Magnesio (Mg) :	155.55	mg/l
Sodio (Na) :	300.00	mg/l
Hierro (Fe) :	0.00	mg/l

**ANIONES**

Bicarbonatos (HCO <sub>3</sub> ) :	286.75	mg/l
Sulfatos (SO <sub>4</sub> ) :	1435.00	mg/l
Nitrato (NO <sub>3</sub> ) :	2.30	mg/l
Cloruro (Cl) :	355.00	mg/l

**OTRAS DETERMINACIONES**

Silice (SiO<sub>2</sub>) : 21.8 mg/l  
 Relación de Adsorción de Sodio (RAS) : 3,4

**PARAMETROS CALCULADOS**

CACIONES	meq/l	% meq/l	ANIONES	meq/l	% meq/l
Calcio (Ca) :	17.45	40.35	Bicarbonatos (HCO <sub>3</sub> ) :	4.58	10.59
Magnesio (Mg) :	12.34	28.53	Sulfatos (SO <sub>4</sub> ) :	28.70	66.36
Sodio (Na) :	13.46	31.12	Nitrato (NO <sub>3</sub> ) :	0.03	0.07
Hierro (Fe) :	0.00	0.00	Cloruro (Cl) :	9.94	22.98
suma	43.25	100.00	suma	43.25	100.00

Los análisis se efectuaron siguiendo los procedimientos establecidos en las normas oficiales mexicanas y los procedimientos de los métodos estandar para análisis de agua de la APHA, AWWA y WPCF.

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**  
**INSTITUTO DE INGENIERÍA CIVIL**  
**MAESTRÍA EN CIENCIAS CON ESPECIALIDAD EN HIDROLOGÍA SUBTERRÁNEA**

**ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DEL AGUA**

**NOMBRE DE LA TESIS:**

"Comportamiento hidráulico y geoquímico del acuífero granular de la cuenca de Paredón-Icamole, entre los estados de Nuevo León y Coahuila, en México"

TESISTA: Eugenio Hernández Rico

ASESOR INTERNO DE TESIS : M. C. Víctor M. Aguilera R.

ASESOR EXTERNO DE TESIS : Dr. Juan M. Rodríguez Mtz.

MUESTRA N° : 4

N° Y TIPO DE FUENTE : 10.- Pozo

UBICACIÓN: Rcho. Estrella

MUNICIPIO: Ramos Arizpe

ESTADO : Coahuila

FECHA DE MUESTREO : 3 de Julio de 1996

FECHA DE ANÁLISIS : 4 de Julio de 1996

MUESTRA TOMADA POR : Ing. Fco. Torres Cerda e Ing. Eugenio H. Rico

**DETERMINACIONES EN CAMPO**

TEMPERATURA: 26 °C      pH : 6.8

**DETERMINACIONES EN LABORATORIO**

pH : 6.9	DUREZA TOTAL : 1600 mg/l CaCO <sub>3</sub>
CONDUCTIVIDAD : 3765 umhos/cm	DUREZA CALCICA : 840 mg/l CaCO <sub>3</sub>
STD : 3135 mg/l	DUREZA MAGNESICA : 760 mg/l CaCO <sub>3</sub>
TURBIEDAD : 0,6 mg/l SiO <sub>2</sub>	ALCALINIDAD TOTAL : 200 mg/l CaCO <sub>3</sub>

**CATIONES**

Calcio (Ca) :	336.67	mg/l
Magnesio (Mg) :	184.72	mg/l
Sodio (Na) :	300.00	mg/l
Hierro (Fe) :	0.00	mg/l

**ANIONES**

Bicarbonatos (HCO <sub>3</sub> ) :	244.00	mg/l
Sulfatos (SO <sub>4</sub> ) :	1545.80	mg/l
Nitrato (NO <sub>3</sub> ) :	2.40	mg/l
Cloruro (Cl) :	355.00	mg/l

**OTRAS DETERMINACIONES**

Silice (SiO<sub>2</sub>) : 19.5 mg/l

Relación de Adsorción de Sodio (RAS) : 3,3

**PARAMETROS CALCULADOS**

CATIONES	meq/l	% meq/l	ANIONES	meq/l	% meq/l
Calcio (Ca) :	16.71	37.27	Bicarbonatos (HCO <sub>3</sub> ) :	3.91	8.72
Magnesio (Mg) :	14.74	32.87	Sulfatos (SO <sub>4</sub> ) :	30.90	68.90
Sodio (Na) :	13.39	29.86	Nitrato (NO <sub>3</sub> ) :	0.04	0.09
Hierro (Fe) :	0.00	0.00	Cloruro (Cl) :	10.00	22.30
suma	44.84	100.00	suma	44.85	100.00

Los análisis se efectuarán siguiendo los procedimientos establecidos en las normas oficiales mexicanas y los procedimientos de los métodos estandar para análisis de agua de la APHA, AWWA y WPCF.

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**  
**INSTITUTO DE INGENIERÍA CIVIL**  
**MAESTRÍA EN CIENCIAS CON ESPECIALIDAD EN HIDROLOGÍA SUBTERRÁNEA**

**ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DEL AGUA**

**NOMBRE DE LA TESIS:**

"Comportamiento hidráulico y geoquímico del acuífero granular de la cuenca de Paredón-Icamole, entre los estados de Nuevo León y Coahuila, en México"

**TESISTA:** Eugenio Hernández Rico

**ASESOR INTERNO DE TESIS :** M. C. Victor M. Aguilera R.

**ASESOR EXTERNO DE TESIS :** Dr. Juan M. Rodríguez Mtz.

**MUESTRA N° :** 5

**N° Y TIPO DE FUENTE :** 13.- Pozo

**UBICACIÓN:** Rcho. Santa Herminia

**MUNICIPIO:** Ramos Arizpe

**ESTADO :** Coahuila

**FECHA DE MUESTREO :** 3 de Julio de 1996

**FECHA DE ANÁLISIS :** 4 de Julio de 1996

**MUESTRA TOMADA POR :** Ing. Fco. Torres Cerda e Ing. Eugenio H. Rico

**DETERMINACIONES EN CAMPO**

**TEMPERATURA:** 25 °C      **pH :** 7.0

**DETERMINACIONES EN LABORATORIO**

<b>pH :</b> 7.1	<b>DUREZA TOTAL :</b> 1700 mg/l CaCO <sub>3</sub>
<b>CONDUCTIVIDAD :</b> 3875 umhos/cm	<b>DUREZA CALCICA :</b> 820 mg/l CaCO <sub>3</sub>
<b>STD :</b> 3470 mg/l	<b>DUREZA MAGNESICA :</b> 880 mg/l CaCO <sub>3</sub>
<b>TURBIEDAD :</b> 1.1 mg/l SiO <sub>2</sub>	<b>ALCALINIDAD TOTAL :</b> 225 mg/l CaCO <sub>3</sub>

**CACIONES**

<b>Calcio (Ca) :</b>	328.10	mg/l
<b>Magnesio (Mg) :</b>	213.80	mg/l
<b>Sodio (Na) :</b>	320.00	mg/l
<b>Hierro (Fe) :</b>	0.00	mg/l

**ANIONES**

<b>Bicarbonatos (HCO<sub>3</sub>) :</b>	270.00	mg/l
<b>Sulfatos (SO<sub>4</sub>) :</b>	1498.90	mg/l
<b>Nitrato (NO<sub>3</sub>) :</b>	2.60	mg/l
<b>Cloruro (Cl) :</b>	459.00	mg/l

**OTRAS DETERMINACIONES**

**Silice (SiO<sub>2</sub>) :** 21.2 mg/l  
**Relación de Adsorción de Sodio (RAS) :** 3,4

**PARAMETROS CALCULADOS**

CACIONES	meq/l	% meq/l	ANIONES	meq/l	% meq/l
Calcio (Ca) :	16.32	34.61	Bicarbonatos (HCO <sub>3</sub> ) :	4.32	9.16
Magnesio (Mg) :	17.09	36.24	Sulfatos (SO <sub>4</sub> ) :	29.97	63.52
Sodio (Na) :	13.76	29.18	Nitrato (NO <sub>3</sub> ) :	0.04	0.08
Hierro (Fe) :	0.00	0.00	Cloruro (Cl) :	12.84	27.21
<b>suma</b>	<b>47.17</b>	<b>100.02</b>	<b>suma</b>	<b>47.17</b>	<b>99.98</b>

Los análisis se efectuarán siguiendo los procedimientos establecidos en las normas oficiales mexicanas y los procedimientos de los métodos estandar para análisis de agua de la APHA, AWWA y WPCF.

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**  
 INSTITUTO DE INGENIERÍA CIVIL  
 MAESTRÍA EN CIENCIAS CON ESPECIALIDAD EN HIDROLOGÍA SUBTERRÁNEA

**ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DEL AGUA**

**NOMBRE DE LA TESIS:**

"Comportamiento hidráulico y geoquímico del acuífero granular de la cuenca de Paredón-Icamole, entre los estados de Nuevo León y Coahuila, en México"

TESISTA: Eugenio Hernández Rico

ASESOR INTERNO DE TESIS : M. C. Víctor M. Aguilera R.

ASESOR EXTERNO DE TESIS : Dr. Juan M. Rodríguez Mtz.

MUESTRA N° : 6

N° Y TIPO DE FUENTE : 17.- Pozo

UBICACIÓN: Rcho. Santa Herminia

MUNICIPIO: Ramos Arizpe

ESTADO : Coahuila

FECHA DE MUESTREO : 3 de Julio de 1996

FECHA DE ANÁLISIS : 4 de Julio de 1996

MUESTRA TOMADA POR : Ing. Fco. Torres Cerda e Ing. Eugenio H. Rico

**DETERMINACIONES EN CAMPO**

TEMPERATURA: 26 °C                      pH : 6.6

**DETERMINACIONES EN LABORATORIO**

pH : 6,8	DUREZA TOTAL :	2340	mg/l CaCO <sub>3</sub>
CONDUCTIVIDAD : 3850 umhos/cm	DUREZA CALCICA :	1305	mg/l CaCO <sub>3</sub>
STD : 3430 mg/l	DUREZA MAGNESICA :	1035	mg/l CaCO <sub>3</sub>
TURBIEDAD : 1,1 mg/l SiO <sub>2</sub>	ALCALINIDAD TOTAL :	300	mg/l CaCO <sub>3</sub>

**CATIONES**

Calcio (Ca) :	522.10	mg/l
Magnesio (Mg) :	251.52	mg/l
Sodio (Na) :	420.00	mg/l
Hierro (Fe) :	0.00	mg/l

**ANIONES**

Bicarbonatos (HCO <sub>3</sub> ) :	366.00	mg/l
Sulfatos (SO <sub>4</sub> ) :	1798.00	mg/l
Nitrato (NO <sub>3</sub> ) :	2.60	mg/l
Cloruro (Cl) :	789.00	mg/l

**OTRAS DETERMINACIONES**

Silice (SiO<sub>2</sub>) : 22.3 mg/l

Relación de Adsorción de Sodio (RAS) : 3,8

**PARAMETROS CALCULADOS**

CATIONES	meq/l	% meq/l	ANIONES	meq/l	% meq/l
Calcio (Ca) :	25.51	39.62	Bicarbonatos (HCO <sub>3</sub> ) :	6.10	9.48
Magnesio (Mg) :	20.62	32.03	Sulfatos (SO <sub>4</sub> ) :	35.98	55.90
Sodio (Na) :	18.25	28.35	Nitrato (NO <sub>3</sub> ) :	0.04	0.06
Hierro (Fe) :	0.00		Cloruro (Cl) :	22.25	34.57
suma	64.38	100.00	suma	64.37	100.00

Los análisis se efectuarán siguiendo los procedimientos establecidos en las normas oficiales mexicanas y los procedimientos de los métodos estandar para análisis de agua de la APHA, AWWA y WPCF.



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**  
 INSTITUTO DE INGENIERÍA CIVIL  
 MAESTRÍA EN CIENCIAS CON ESPECIALIDAD EN HIDROLOGÍA SUBTERRÁNEA

**ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DEL AGUA**

**NOMBRE DE LA TESIS:**

"Comportamiento hidráulico y geoquímico del acuífero granular de la cuenca de Paredón-Icamole, entre los estados de Nuevo León y Coahuila, en México"

**TESISTA:** Eugenio Hernández Rico

**ASESOR INTERNO DE TESIS :** M. C. Victor M. Aguilera R.

**ASESOR EXTERNO DE TESIS :** Dr. Juan M. Rodríguez Mtz.

**MUESTRA N° :** 8

**N° Y TIPO DE FUENTE :** 19.- Manantial

**UBICACIÓN:** Rcho. El Anrísco

**MUNICIPIO:** Ramos Arízpe

**ESTADO :** Coahuila

**FECHA DE MUESTREO :** 3 de Julio de 1996

**FECHA DE ANÁLISIS :** 4 de Julio de 1996

**MUESTRA TOMADA POR :** Ing. Fco. Torres Cerda e Ing. Eugenio H. Rico

**DETERMINACIONES EN CAMPO**

**TEMPERATURA:** 23 °C      **pH :** 7.0

**DETERMINACIONES EN LABORATORIO**

<b>pH :</b> 7,1	<b>DUREZA TOTAL :</b> 310 mg/l CaCO <sub>3</sub>
<b>CONDUCTIVIDAD :</b> 1140 umhos/cm	<b>DUREZA CALCICA :</b> 195 mg/l CaCO <sub>3</sub>
<b>STD :</b> 1030 mg/l	<b>DUREZA MAGNESICA :</b> 115 mg/l CaCO <sub>3</sub>
<b>TURBIEDAD :</b> 17,0 mg/l SiO <sub>2</sub>	<b>ALCALINIDAD TOTAL :</b> 240 mg/l CaCO <sub>3</sub>

**CATIONES**

<b>Calcio (Ca) :</b> 78.10 mg/l
<b>Magnesio (Mg) :</b> 27.91 mg/l
<b>Sodio (Na) :</b> 95.00 mg/l
<b>Fierro (Fe) :</b> 0.00 mg/l

**ANIONES**

<b>Bicarbonatos (HCO<sub>3</sub>) :</b> 292.80 mg/l
<b>Sulfatos (SO<sub>4</sub>) :</b> 160.10 mg/l
<b>Nitrato (NO<sub>3</sub>) :</b> 1.60 mg/l
<b>Cloruro (Cl) :</b> 75.60 mg/l

**OTRAS DETERMINACIONES**

**Silice (SiO<sub>2</sub>) :** 18.2 mg/l  
**Relación de Adsorción de Sodio (RAS) :** 2,3

**PARAMETROS CALCULADOS**

CATIONES	meq/l	% meq/l	ANIONES	meq/l	% meq/l
Calcio (Ca) :	3.82	37.90	Bicarbonatos (HCO <sub>3</sub> ) :	4.69	46.57
Magnesio (Mg) :	2.25	22.32	Sulfatos (SO <sub>4</sub> ) :	3.24	32.17
Sodio (Na) :	4.01	39.78	Nitrato (NO <sub>3</sub> ) :	0.02	0.20
Fierro (Fe) :	0.00	0.00	Cloruro (Cl) :	2.12	21.05
suma	10.08	100.00	suma	10.07	100.00

Los análisis se efectuarán siguiendo los procedimientos establecidos en las normas oficiales mexicanas y los procedimientos de los métodos estandar para análisis de agua de la APHA, AWWA y WPCF.

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**  
 INSTITUTO DE INGENIERÍA CIVIL  
 MAESTRÍA EN CIENCIAS CON ESPECIALIDAD EN HIDROLOGÍA SUBTERRÁNEA

**ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DEL AGUA**

**NOMBRE DE LA TESIS:**

"Comportamiento hidráulico y geoquímico del acuífero granular de la cuenca de Paredón-Icamole, entre los estados de Nuevo León y Coahuila, en México"

TESISTA: Eugenio Hernández Rico

ASESOR INTERNO DE TESIS : M. C. Víctor Aguilera R.

ASESOR EXTERNO DE TESIS : Dr. Juan M. Rodríguez Mtz.

MUESTRA N° : 9

N° Y TIPO DE FUENTE : 22.- Manantial

UBICACIÓN: Rcho. La Azufrosa

MUNICIPIO: Ramos Arizpe

ESTADO : Coahuila

FECHA DE MUESTREO : 3 de Julio de 1996

FECHA DE ANÁLISIS : 4 de Julio de 1996

MUESTRA TOMADA POR : Ing. Fco. Torres Cerda e Ing. Eugenio H. Rico

**DETERMINACIONES EN CAMPO**

TEMPERATURA: 45 °C      pH : 6.6

**DETERMINACIONES EN LABORATORIO**

pH : 6,7	DUREZA TOTAL : 1285 mg/l CaCO <sub>3</sub>
CONDUCTIVIDAD : 3485 umhos/cm	DUREZA CALCICA : 890 mg/l CaCO <sub>3</sub>
STD : 2795 mg/l	DUREZA MAGNESICA : 395 mg/l CaCO <sub>3</sub>
TURBIEDAD : 15 mg/l SiO <sub>2</sub>	ALCALINIDAD TOTAL : 230 mg/l CaCO <sub>3</sub>

**CATIONES**

Calcio (Ca) :	356.00	mg/l
Magnesio (Mg) :	95.98	mg/l
Sodio (Na) :	310.00	mg/l
Hierro (Fe) :	0.00	mg/l

**ANIONES**

Bicarbonatos (HCO <sub>3</sub> ) :	280.60	mg/l
Sulfatos (SO <sub>4</sub> ) :	1392.00	mg/l
Nitrato (NO <sub>3</sub> ) :	0.80	mg/l
Cloruro (Cl) :	215.00	mg/l

**OTRAS DETERMINACIONES**

Silice (SiO<sub>2</sub>) : 28.9 mg/l  
 Relación de Adsorción de Sodio (RAS) : 3,8

**PARAMETROS CALCULADOS**

CATIONES	meq/l	% meq/l	ANIONES	meq/l	% meq/l
Calcio (Ca) :	17.45	45.36	Bicarbonatos (HCO <sub>3</sub> ) :	4.49	11.67
Magnesio (Mg) :	7.69	19.99	Sulfatos (SO <sub>4</sub> ) :	27.83	72.34
Sodio (Na) :	13.33	34.65	Nitrato (NO <sub>3</sub> ) :	0.13	0.34
Hierro (Fe) :	0.00	0.00	Cloruro (Cl) :	6.02	15.65
suma	38.47	100.00	suma	38.47	100.00

Los análisis se efectuarán siguiendo los procedimientos establecidos en las normas oficiales mexicanas y los procedimientos de los métodos estandar para análisis de agua de la APHA, AWWA y WPCF.



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**  
**INSTITUTO DE INGENIERÍA CIVIL**  
**MAESTRÍA EN CIENCIAS CON ESPECIALIDAD EN HIDROLOGÍA SUBTERRÁNEA**

**ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DEL AGUA**

**NOMBRE DE LA TESIS:**

"Comportamiento hidráulico y geoquímico del acuífero granular de la cuenca de Paredón-Icamole, entre los estados de Nuevo León y Coahuila, en México"

**TESISTA:** Eugenio Hernández Rico

**ASESOR INTERNO DE TESIS :** M. C. Victor M. Aguilera R.

**ASESOR EXTERNO DE TESIS :** Dr. Juan M. Rodríguez Mtz.

**MUESTRA N° :** 11

**N° Y TIPO DE FUENTE :** 25.- Manantial

**UBICACIÓN:** Comunidad Las Cuatas

**MUNICIPIO:** Ramos Arizpe

**ESTADO :** Coahuila

**FECHA DE MUESTREO :** 3 de Julio de 1996

**FECHA DE ANÁLISIS :** 4 de Julio de 1996

**MUESTRA TOMADA POR :** Ing. Fco. Torres Cerda e Ing. Eugenio H. Rico

**DETERMINACIONES EN CAMPO**

**TEMPERATURA:** 28 °C      **pH :** 7.1

**DETERMINACIONES EN LABORATORIO**

<b>pH :</b> 7.2	<b>DUREZA TOTAL :</b> 1640 mg/l CaCO <sub>3</sub>
<b>CONDUCTIVIDAD :</b> 4250 umhos/cm	<b>DUREZA CALCICA :</b> 1230 mg/l CaCO <sub>3</sub>
<b>STD :</b> 3780 mg/l	<b>DUREZA MAGNESICA :</b> 410 mg/l CaCO <sub>3</sub>
<b>TURBIEDAD :</b> 66 mg/l SiO <sub>2</sub>	<b>ALCALINIDAD TOTAL :</b> 225 mg/l CaCO <sub>3</sub>

**CATIONES**

<b>Calcio (Ca) :</b>	492.00	mg/l
<b>Magnesio (Mg) :</b>	99.63	mg/l
<b>Sodio (Na) :</b>	317.00	mg/l
<b>Hierro (Fe) :</b>	0.00	mg/l

**ANIONES**

<b>Bicarbonatos (HCO<sub>3</sub>) :</b>	274.50	mg/l
<b>Sulfatos (SO<sub>4</sub>) :</b>	1693.00	mg/l
<b>Nitrato (NO<sub>3</sub>) :</b>	0.10	mg/l
<b>Cloruro (Cl) :</b>	265.00	mg/l

**OTRAS DETERMINACIONES**

**Silice (SiO<sub>2</sub>) :** 30.6 mg/l  
**Relación de Adsorción de Sodio (RAS) :** 3.4

**PARAMETROS CALCULADOS**

CATIONES	meq/l	% meq/l	ANIONES	meq/l	% meq/l
Calcio (Ca) :	24.10	52.75	Bicarbonatos (HCO <sub>3</sub> ) :	4.39	9.61
Magnesio (Mg) :	7.97	17.44	Sulfatos (SO <sub>4</sub> ) :	33.86	74.12
Sodio (Na) :	13.62	29.81	Nitrato (NO <sub>3</sub> ) :	0.01	0.02
Hierro (Fe) :	0.00	0.00	Cloruro (Cl) :	7.42	16.24
suma	45.69	100.00	suma	45.68	100.00

Los análisis se efectuarán siguiendo los procedimientos establecidos en las normas oficiales mexicanas y los procedimientos de los métodos estandar para análisis de agua de la APHA, AWWA y WPCF.

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**  
**INSTITUTO DE INGENIERÍA CIVIL**  
**MAESTRÍA EN CIENCIAS CON ESPECIALIDAD EN HIDROLOGÍA SUBTERRÁNEA**

**ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DEL AGUA**

**NOMBRE DE LA TESIS:**

"Comportamiento hidráulico y geoquímico del acuífero granular de la cuenca de Paredón-Icamole, entre los estados de Nuevo León y Coahuila, en México"

TESISTA: Eugenio Hernández Rico

ASESOR INTERNO DE TESIS : M. C. Víctor M. Aguilera R.

ASESOR EXTERNO DE TESIS : Dr. Juan M. Rodríguez Mtz.

MUESTRA N° : 12

N° Y TIPO DE FUENTE : 26.- Pozo

UBICACIÓN: Rancho Nuevo

MUNICIPIO: Ramos Arizpe

ESTADO : Coahuila

FECHA DE MUESTREO : 3 de Julio de 1996

FECHA DE ANÁLISIS : 4 de Julio de 1996

MUESTRA TOMADA POR : Ing. Fco. Torres Cerda e Ing. Eugenio H. Rico

**DETERMINACIONES EN CAMPO**

TEMPERATURA: 28 °C      pH: 6.7

**DETERMINACIONES EN LABORATORIO**

pH : 6,9	DUREZA TOTAL :	1450	mg/l CaCO <sub>3</sub>
CONDUCTIVIDAD : 2425 umhos/cm	DUREZA CALCICA :	800	mg/l CaCO <sub>3</sub>
STD : 3310 mg/l	DUREZA MAGNESICA :	650	mg/l CaCO <sub>3</sub>
TURBIEDAD : 15 mg/l SiO <sub>2</sub>	ALCALINIDAD TOTAL :	250	mg/l CaCO <sub>3</sub>

**CATIONES**

Calcio (Ca) :	320.00	mg/l
Magnesio (Mg) :	157.95	mg/l
Sodio (Na) :	307.00	mg/l
Fierro (Fe) :	0.00	mg/l

**ANIONES**

Bicarbonatos (HCO <sub>3</sub> ) :	305.00	mg/l
Sulfatos (SO <sub>4</sub> ) :	1510.00	mg/l
Nitrato (NO <sub>3</sub> ) :	1.40	mg/l
Cloruro (Cl) :	235.00	mg/l

**OTRAS DETERMINACIONES**

Silice (SiO<sub>2</sub>) : 12.4 mg/l  
 Relación de Adsorción de Sodio (RAS) : 3,5

**PARAMETROS CALCULADOS**

CATIONES	meq/l	% meq/l	ANIONES	meq/l	% meq/l
Calcio (Ca) :	15.65	37.49	Bicarbonatos (HCO <sub>3</sub> ) :	4.88	11.69
Magnesio (Mg) :	12.91	30.92	Sulfatos (SO <sub>4</sub> ) :	30.25	72.47
Sodio (Na) :	13.19	31.59	Nitrato (NO <sub>3</sub> ) :	0.02	0.05
Fierro (Fe) :	0.00	0.00	Cloruro (Cl) :	6.59	15.79
suma	41.75	100.00	suma	41.74	100.00

Los análisis se efectuarán siguiendo los procedimientos establecidos en las normas oficiales mexicanas y los procedimientos de los métodos estandar para análisis de agua de la APHA, AWWA y WPCF.

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**  
**INSTITUTO DE INGENIERÍA CIVIL**  
**MAESTRÍA EN CIENCIAS CON ESPECIALIDAD EN HIDROLOGÍA SUBTERRÁNEA**

**ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DEL AGUA**

**NOMBRE DE LA TESIS:**

"Comportamiento hidráulico y geoquímico del acuífero granular de la cuenca de Paredón-Icamole, entre los estados de Nuevo León y Coahuila, en México"

**TESISTA:** Eugenio Hernández Rico

**ASESOR INTERNO DE TESIS :** M. C. Víctor M. Aguilera R..

**ASESOR EXTERNO DE TESIS :** Dr. Juan M. Rodríguez Mtz.

**MUESTRA N° :** 13

**N° Y TIPO DE FUENTE :** 28.- Pozo

**UBICACIÓN:** Rancho Nuevo

**MUNICIPIO:** Ramos Arizpe

**ESTADO :** Coahuila

**FECHA DE MUESTREO :** 3 de Julio de 1996

**FECHA DE ANÁLISIS :** 4 de Julio de 1996

**MUESTRA TOMADA POR :** Ing. Fco. Torres Cerda e Ing. Eugenio H. Rico

**DETERMINACIONES EN CAMPO**

**TEMPERATURA:** 30 °C      **pH:** 6.9

**DETERMINACIONES EN LABORATORIO**

<b>pH :</b> 7,0	<b>DUREZA TOTAL :</b> 1530	<b>mg/l CaCO<sub>3</sub></b>
<b>CONDUCTIVIDAD :</b> 3540 umhos/cm	<b>DUREZA CALCICA :</b> 820	<b>mg/l CaCO<sub>3</sub></b>
<b>STD :</b> 3300 mg/l	<b>DUREZA MAGNESICA :</b> 710	<b>mg/l CaCO<sub>3</sub></b>
<b>TURBIEDAD :</b> 21 mg/l SiO <sub>2</sub>	<b>ALCALINIDAD TOTAL :</b> 255	<b>mg/l CaCO<sub>3</sub></b>

**CATIONES**

**Calcio (Ca) :** 328.00 mg/l  
**Magnesio (Mg) :** 172.53 mg/l  
**Sodio (Na) :** 300.00 mg/l  
**Fierro (Fe) :** 0.00 mg/l

**ANIONES**

**Bicarbonatos (HCO<sub>3</sub>) :** 311.12 mg/l  
**Sulfatos (SO<sub>4</sub>) :** 1505.00 mg/l  
**Nitrato (NO<sub>3</sub>) :** 1.90 mg/l  
**Cloruro (Cl) :** 274.00 mg/l

**OTRAS DETERMINACIONES**

**Silice (SiO<sub>2</sub>) :** 18.4 mg/l  
**Relación de Adsorción de Sodio (RAS) :** 3,4

**PARAMETROS CALCULADOS**

CATIONES	meq/l	% meq/l	ANIONES	meq l	% meq l
Calcio (Ca) :	16.07	37.57	Bicarbonatos (HCO <sub>3</sub> ) :	4.98	11.64
Magnesio (Mg) :	13.80	32.27	Sulfatos (SO <sub>4</sub> ) :	30.10	70.36
Sodio (Na) :	12.90	30.16	Nitrato (NO <sub>3</sub> ) :	0.03	0.07
Fierro (Fe) :	0.00	0.00	Cloruro (Cl) :	7.67	17.93
suma	42.77	100.00	suma	42.78	100.00

Los análisis se efectuaron siguiendo los procedimientos establecidos en las normas oficiales mexicanas y los procedimientos de los métodos estandar para análisis de agua de la APHA, AWWA y WPFC.

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**  
**INSTITUTO DE INGENIERÍA CIVIL**  
**MAESTRÍA EN CIENCIAS CON ESPECIALIDAD EN HIDROLOGÍA SUBTERRÁNEA**

**ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DEL AGUA**

**NOMBRE DE LA TESIS:**

"Comportamiento hidráulico y geoquímico del acuífero granular de la cuenca de Paredón-Icamole, entre los estados de Nuevo León y Coahuila, en México"

**TESISTA:** Eugenio Hernández Rico

**ASESOR INTERNO DE TESIS :** M. C. Víctor M. Aguilera R.

**ASESOR EXTERNO DE TESIS :** Dr. Juan M. Rodríguez Mtz.

**MUESTRA N° :** 14

**N° Y TIPO DE FUENTE :** 29.- Pozo

**UBICACIÓN:** Comunidad El Milagro

**MUNICIPIO:** García

**ESTADO :** Nuevo León

**FECHA DE MUESTREO :** 3 de Julio de 1996

**FECHA DE ANÁLISIS :** 4 de Julio de 1996

**MUESTRA TOMADA POR :** Ing. Fco. Torres Cerda e Ing. Eugenio H. Rico

**DETERMINACIONES EN CAMPO**

**TEMPERATURA:** 27 °C      **pH:** 7.3

**DETERMINACIONES EN LABORATORIO**

<b>pH :</b> 7,5	<b>DUREZA TOTAL :</b> 1205	<b>mg/l CaCO<sub>3</sub></b>
<b>CONDUCTIVIDAD :</b> 3200 umhos/cm	<b>DUREZA CALCICA :</b> 715	<b>mg/l CaCO<sub>3</sub></b>
<b>STD :</b> 2650 mg/l	<b>DUREZA MAGNESICA :</b> 490	<b>mg/l CaCO<sub>3</sub></b>
<b>TURBIEDAD :</b> 3.3 mg/l SiO <sub>4</sub>	<b>ALCALINIDAD TOTAL :</b> 290	<b>mg/l CaCO<sub>3</sub></b>

**CATIONES**

<b>Calcio (Ca) :</b>	286.00	<b>mg/l</b>
<b>Magnesio (Mg) :</b>	119.07	<b>mg/l</b>
<b>Sodio (Na) :</b>	290.00	<b>mg/l</b>
<b>Fierro (Fe) :</b>	0.00	<b>mg/l</b>

**ANIONES**

<b>Bicarbonatos (HCO<sub>3</sub>) :</b>	353.80	<b>mg/l</b>
<b>Sulfatos (SO<sub>4</sub>) :</b>	1080.00	<b>mg/l</b>
<b>Nitrato (NO<sub>3</sub>) :</b>	2.10	<b>mg/l</b>
<b>Cloruro (Cl) :</b>	320.00	<b>mg/l</b>

**OTRAS DETERMINACIONES**

<b>Silice (SiO<sub>2</sub>) :</b>	16.1	<b>mg/l</b>
<b>Relación de Adsorción de Sodio (RAS) :</b>	3.6	

**PARAMETROS CALCULADOS**

CATIONES	meq/l	% meq/l	ANIONES	meq/l	% meq/l
Calcio (Ca) :	14.02	38.68	Bicarbonatos (HCO <sub>3</sub> ) :	5.66	15.62
Magnesio (Mg) :	9.76	26.92	Sulfatos (SO <sub>4</sub> ) :	21.60	59.59
Sodio (Na) :	12.47	34.40	Nitrato (NO <sub>3</sub> ) :	0.03	0.08
Fierro (Fe) :	0.00	0.00	Cloruro (Cl) :	8.96	24.72
suma	36.25	100.00	suma	36.25	100.00

Los análisis se efectuaron siguiendo los procedimientos establecidos en las normas oficiales mexicanas y los procedimientos de los métodos estandar para análisis de agua de la APHA, AWWA y WPCF.

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**  
**INSTITUTO DE INGENIERÍA CIVIL**  
**MAESTRÍA EN CIENCIAS CON ESPECIALIDAD EN HIDROLOGÍA SUBTERRÁNEA**

**ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DEL AGUA**

**NOMBRE DE LA TESIS:**

"Comportamiento hidráulico y geoquímico del acuífero granular de la cuenca de Paredón-Icamole, entre los estados de Nuevo León y Coahuila, en México"

**TESISTA:** Eugenio Hernández Rico

**ASESOR INTERNO DE TESIS :** M. C. Víctor M. Aguilera R.

**ASESOR EXTERNO DE TESIS :** Dr. Juan M. Rodríguez Mtz.

**MUESTRA N° :** 15

**N° Y TIPO DE FUENTE :** 31.- Pozo

**UBICACIÓN:** Comunidad El Milagro

**MUNICIPIO:** García

**ESTADO :** Nuevo León

**FECHA DE MUESTREO :** 3 de Julio de 1996

**FECHA DE ANÁLISIS :** 4 de Julio de 1996

**MUESTRA TOMADA POR :** Ing. Fco. Torres Cerda e Ing. Eugenio H. Rico

**DETERMINACIONES EN CAMPO**

**TEMPERATURA:** 27 °C      **pH :** 7.3

**DETERMINACIONES EN LABORATORIO**

<b>pH :</b> 7.3	<b>DUREZA TOTAL :</b> 1050	<b>mg/l CaCO<sub>3</sub></b>
<b>CONDUCTIVIDAD :</b> 3565 umhos/cm	<b>DUREZA CALCICA :</b> 510	<b>mg/l CaCO<sub>3</sub></b>
<b>STD :</b> 3175 mg/l	<b>DUREZA MAGNESICA :</b> 540	<b>mg/l CaCO<sub>3</sub></b>
<b>TURBIEDAD :</b> 52 mg/l SiO <sub>2</sub>	<b>ALCALINIDAD TOTAL :</b> 300	<b>mg/l CaCO<sub>3</sub></b>

**CATIONES**

<b>Calcio (Ca) :</b>	204.41	<b>mg/l</b>
<b>Magnesio (Mg) :</b>	131.25	<b>mg/l</b>
<b>Sodio (Na) :</b>	390.00	<b>mg/l</b>
<b>Fierro (Fe) :</b>	0.00	<b>mg/l</b>

**ANIONES**

<b>Bicarbonatos (HCO<sub>3</sub>) :</b>	365.00	<b>mg/l</b>
<b>Sulfatos (SO<sub>4</sub>) :</b>	1159.00	<b>mg/l</b>
<b>Nitrato (NO<sub>3</sub>) :</b>	1.90	<b>mg/l</b>
<b>Cloruro (Cl) :</b>	325.00	<b>mg/l</b>

**OTRAS DETERMINACIONES**

**Silice (SiO<sub>2</sub>) :** 15.6      **mg/l**  
**Relación de Adsorción de Sodio (RAS) :** 5.2

**PARAMETROS CALCULADOS**

<b>CATIONES</b>	<b>meq/l</b>	<b>% meq/l</b>	<b>ANIONES</b>	<b>meq/l</b>	<b>% meq/l</b>
<b>Calcio (Ca) :</b>	10.20	26.71	<b>Bicarbonatos (HCO<sub>3</sub>) :</b>	5.84	15.29
<b>Magnesio (Mg) :</b>	10.50	27.49	<b>Sulfatos (SO<sub>4</sub>) :</b>	23.18	60.68
<b>Sodio (Na) :</b>	17.49	45.80	<b>Nitrato (NO<sub>3</sub>) :</b>	0.03	0.08
<b>Fierro (Fe) :</b>	0.00	0.00	<b>Cloruro (Cl) :</b>	9.15	23.95
<b>suma</b>	38.19	100.00	<b>suma</b>	38.20	100.00

Los análisis se efectuaron siguiendo los procedimientos establecidos en las normas oficiales mexicanas y los procedimientos de los métodos estandar para análisis de agua de la APHA, AWWA y WPCF.

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**  
 INSTITUTO DE INGENIERÍA CIVIL  
 MAESTRÍA EN CIENCIAS CON ESPECIALIDAD EN HIDROLOGÍA SUBTERRÁNEA

**ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DEL AGUA**

**NOMBRE DE LA TESIS:**

"Comportamiento hidráulico y geoquímico del acuífero granular de la cuenca de Paredón-Icamole, entre los estados de Nuevo León y Coahuila, en México"

TESISTA: Eugenio Hernández Rico

ASESOR INTERNO DE TESIS : M. C. Victor M. Aguilera R.

ASESOR EXTERNO DE TESIS : Dr. Juan M. Rodríguez Mtz.

MUESTRA N° : 16

N° Y TIPO DE FUENTE : 32.- Pozo

UBICACIÓN: Comunidad El Milagro

MUNICIPIO: Garcia

ESTADO : Nuevo León

FECHA DE MUESTREO : 3 de Julio de 1996

FECHA DE ANÁLISIS : 4 de Julio de 1996

MUESTRA TOMADA POR : Ing. Fco. Torres Cerda e Ing. Eugenio H. Rico

**DETERMINACIONES EN CAMPO**

TEMPERATURA: 30 °C      pH : 7.3

**DETERMINACIONES EN LABORATORIO**

pH : 7,5	DUREZA TOTAL :	1170	mg/l CaCO <sub>3</sub>
CONDUCTIVIDAD : 1133 umhos/cm	DUREZA CALCICA :	600	mg/l CaCO <sub>3</sub>
STD : 850 mg/l	DUREZA MAGNESICA :	570	mg/l CaCO <sub>3</sub>
TURBIEDAD : 4 mg/l SiO <sub>2</sub>	ALCALINIDAD TOTAL :	283	mg/l CaCO <sub>3</sub>

**CATIONES**

Calcio (Ca) :	240.00	mg/l
Magnesio (Mg) :	138.51	mg/l
Sodio (Na) :	320.00	mg/l
Fierro (Fe) :	0.00	mg/l

**ANIONES**

Bicarbonatos (HCO <sub>3</sub> ) :	345.26	mg/l
Sulfatos (SO <sub>4</sub> ) :	1125.00	mg/l
Nitrato (NO <sub>3</sub> ) :	2.10	mg/l
Cloruro (Cl) :	315.00	mg/l

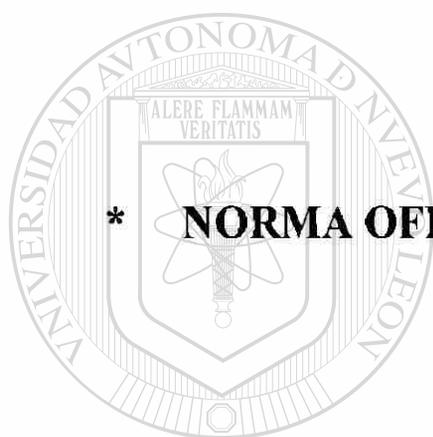
**OTRAS DETERMINACIONES**

Silice (SiO<sub>2</sub>) : 17.5 mg/l  
 Relación de Adsorción de Sodio (RAS) : 4.0

**PARAMETROS CALCULADOS**

CATIONES	meq/l	% meq/l	ANIONES	meq/l	% meq/l
Calcio (Ca) :	11.76	31.90	Bicarbonatos (HCO <sub>3</sub> ) :	5.52	14.98
Magnesio (Mg) :	11.35	30.78	Sulfatos (SO <sub>4</sub> ) :	22.50	61.03
Sodio (Na) :	13.76	37.32	Nitrato (NO <sub>3</sub> ) :	0.03	0.07
Fierro (Fe) :	0.00	0.00	Cloruro (Cl) :	8.82	23.92
suma	36.87	100.00	suma	36.87	100.00

Los análisis se efectuarán siguiendo los procedimientos establecidos en las normas oficiales mexicanas y los procedimientos de los métodos estandar para análisis de agua de la APHA, AWWA y WPCF.



**\* NORMA OFICIAL MEXICANA (NOM-127-SSA1-1996)**

**UANL**

---

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

**SECRETARIA DE SALUD**

**NORMA Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994, Salud ambiental, agua para uso y consumo humano-Limites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización.**

Al margen un sello con el Escudo Nacional, que dice: Estados Unidos Mexicanos.- Secretaría de Salud

**NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-127-SSA1-1994, "SALUD AMBIENTAL, AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO-LIMITES PERMISIBLES DE CALIDAD Y TRATAMIENTOS A QUE DEBE SOMETERSE EL AGUA PARA SU POTABILIZACION".**

GUSTAVO OLAIZ FERNANDEZ, Director General de Salud Ambiental, por acuerdo del Comité Consultivo Nacional de Normalización de Regulación y Fomento Sanitario con fundamento en los artículos 39 de la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal; 3o fracción XIV, 13 apartado A fracción I, 118 fracción II y 119 fracción II de la Ley General de Salud; 38 fracción II, 40 fracción I y 47 de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización; 209, 210, 211, 212, 213, 214, 215, 218, 224, 227 y demás aplicables del Reglamento de la Ley General de Salud en Materia de Control Sanitario de Actividades, Establecimientos, Productos y Servicios; 6o. fracción IV y 26 fracción V del Reglamento Interior de la Secretaría de Salud, y

**CONSIDERANDO**

Que con fecha 31 de mayo de 1984, en cumplimiento de lo previsto en el artículo 46 fracción I de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, la Dirección General de Salud Ambiental presentó al Comité Consultivo Nacional de Normalización de Regulación y Fomento Sanitario, el anteproyecto de la presente Norma Oficial Mexicana.

Que con fecha 16 de agosto, en cumplimiento del acuerdo del Comité y de lo previsto en el artículo 47 fracción I de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, se publicó en el Diario Oficial de la Federación el proyecto de la presente Norma Oficial Mexicana a efecto de que dentro de los siguientes noventa días naturales posteriores a dicha publicación, los interesados presentaran sus comentarios al Comité Consultivo Nacional de Normalización de Regulación y Fomento Sanitario

Que en fecha previa 3 de febrero de 1995, fue publicada en el Diario Oficial de la Federación la respuesta a los comentarios recibidos por el mencionado Comité, en términos del artículo 47 fracción III de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización.

Que en atención a las anteriores consideraciones, contando con la aprobación del Comité Consultivo Nacional de Normalización de Regulación y Fomento Sanitario, se expide la siguiente:

**NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-127-SSA1-1994, "SALUD AMBIENTAL, AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO-LIMITES PERMISIBLES DE CALIDAD Y TRATAMIENTOS A QUE DEBE SOMETERSE EL AGUA PARA SU POTABILIZACION"**

**INDICE**

0. INTRODUCCION
1. OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACION
2. REFERENCIAS
3. DEFINICIONES
4. LIMITES PERMISIBLES DE CALIDAD DEL AGUA
5. TRATAMIENTOS PARA LA POTABILIZACION DEL AGUA
6. BIBLIOGRAFIA
7. CONCORDANCIA CON NORMAS INTERNACIONALES
8. OBSERVANCIA DE LA NORMA
9. VIGENCIA
0. Introducción

El abastecimiento de agua para uso y consumo humano con calidad adecuada es fundamental para prevenir y evitar la transmisión de enfermedades gastrointestinales y otras, para lo cual se requiere establecer límites permisibles en cuanto a sus características bacteriológicas, físicas, organolépticas, químicas y radiactivas.

Con el fin de asegurar y preservar la calidad del agua en los sistemas, hasta la entrega al consumidor, se debe someter a tratamientos de potabilización.

**1. Objetivo y campo de aplicación**

Esta Norma Oficial Mexicana establece los límites permisibles de calidad y los tratamientos de potabilización del agua para uso y consumo humano, que deben cumplir los sistemas de abastecimiento públicos y privados o cualquier persona física o moral que la distribuya, en todo el territorio nacional.

**2. Referencias**

NOM-008-SCF1-1993 "Sistema General de Unidades de Medida".

**3. Definiciones**

**3.1 Ablandamiento:** Proceso de remoción de los iones calcio y magnesio, principales causantes de la dureza del agua.

**3.2 Adsorción:** Remoción de iones y moléculas de una solución que presentan afinidad a un medio sólido adecuado, de forma tal que son separadas de la solución.

**3.3 Agua para uso y consumo humano:** Aquella que no contiene contaminantes objetables, ya sean químicos o agentes infecciosos y que no causa efectos nocivos al ser humano.

**3.4 Características bacteriológicas:** Son aquellas debidas a microorganismos nocivos a la salud humana. Para efectos de control sanitario se determina el contenido de indicadores generales de contaminación microbiológica, específicamente organismos coliformes totales y organismos coliformes fecales.

**3.5 Características físicas y organolépticas:** Son aquellas que se detectan sensorialmente. Para efectos de evaluación, el sabor y olor se ponderan por medio de los sentidos y el color y la turbiedad se determinan por medio de métodos analíticos de laboratorio.

**3.6 Características químicas:** Son aquellas debidas a elementos o compuestos químicos, que como resultado de investigación científica se ha comprobado que pueden causar efectos nocivos a la salud humana.

**3.7 Características radiactivas:** Son aquellas resultantes de la presencia de elementos radiactivos.

**3.8 Coagulación química:** Adición de compuestos químicos al agua, para alterar el estado físico de los sólidos disueltos, coloidales o suspendidos, a fin de facilitar su remoción por precipitación o filtración.

**3.9 Contingencia:** Situación de cambio imprevisto en las características del agua por contaminación externa, que ponga en riesgo la salud humana.

**3.10 Desinfección:** Destrucción de organismos patógenos por medio de la aplicación de productos químicos o procesos físicos.

**3.11 Filtración:** Remoción de partículas suspendidas en el agua, haciéndole fluir a través de un medio filtrante de porosidad adecuada.

**3.12 Floculación:** Aglomeración de partículas desestabilizadas en el proceso de coagulación química, a través de medios mecánicos o hidráulicos.

**3.13 Intercambio iónico:** Proceso de remoción de aniones o cationes específicos disueltos en el agua a través de su reemplazo por aniones o cationes provenientes de un medio de intercambio, natural o sintético, con el que se pone en contacto.

**3.14 Límite permisible:** Concentración o contenido máximo o intervalo de valores de un componente, que garantiza que el agua será agradable a los sentidos y no causará efectos nocivos a la salud del consumidor.

**3.15 Neutralización:** Ajuste del pH, mediante la adición de agentes químicos básicos o ácidos al agua en su caso, con la finalidad de evitar incrustación o corrosión de materiales que puedan afectar su calidad.

**3.16 Ósmosis Inversa:** Proceso esencialmente físico para remoción de iones y moléculas disueltos en el agua, en el cual por medio de altas presiones se fuerza el paso de ella a través de una membrana semipermeable de porosidad específica, reteniéndose en dicha membrana los iones y moléculas de mayor tamaño.

**3.17 Oxidación:** Introducción de oxígeno en la molécula de ciertos compuestos para formar óxidos.

**3.18 Potabilización:** Conjunto de operaciones y procesos, físicos y/o químicos que se aplican al agua a fin de mejorar su calidad y hacerla apta para uso y consumo humano.

**3.19 Precipitación:** Proceso físico que consiste en la separación de las partículas suspendidas sedimentables del agua, por efecto gravitacional.

**3.20 Sistema de abastecimiento:** Conjunto intercomunicado o interconectado de fuentes, obras de captación, plantas cloradoras, plantas potabilizadoras, tanques de almacenamiento y regulación, cárcamos de bombeo, líneas de conducción y red de distribución.

**4. Límites permisibles de calidad del agua**

**4.1 Límites permisibles de características bacteriológicas**

El contenido de organismos resultante del examen de una muestra simple de agua, debe ajustarse a lo establecido en la Tabla 1.

Bajo situaciones de emergencia, las autoridades competentes deben establecer los agentes biológicos nocivos a la salud a investigar.

**TABLA 1**

CARACTERÍSTICA	LÍMITE PERMISIBLE
Organismos coliformes totales	2 NMP/100 ml 2 UFC/100 ml
Organismos coliformes fecales	No detectable NMP/100 ml Cero UFC/100 ml

Los resultados de los exámenes bacteriológicos se deben reportar en unidades de NMP/100 ml (número más probable por 100 ml), si se utiliza la técnica del número más probable o UFC/100 ml (unidades formadoras de colonias por 100 ml), si se utiliza la técnica de filtración por membrana.

**4.2 Límites permisibles de características físicas y organolépticas**

Las características físicas y organolépticas deberán ajustarse a lo establecido en la Tabla 2.

**TABLA 2**

CARACTERÍSTICA	LÍMITE PERMISIBLE
Color	20 unidades de color verdadero en la escala de platino-cobalto.
Olor y sabor	Agradable (se aceptarán aquellos que sean tolerables para la mayoría de los consumidores, siempre que no sean resultados de condiciones objetables desde el punto de vista biológico o químico).
Turbiedad	5 unidades de turbiedad nefelométricas (UTN) o su equivalente en otro método.

**4.3 Límites permisibles de características químicas**

El contenido de constituyentes químicos deberá ajustarse a lo establecido en la Tabla 3. Los límites se expresan en mg/l, excepto cuando se indique otra unidad.

**TABLA 3**

CARACTERÍSTICA	LÍMITE PERMISIBLE
Aluminio	0.20
Arsénico	0.05
Bario	0.70
Cadmio	0.005
Cianuros (como CN <sup>-</sup> )	0.07
Cloro residual libre	0.2-1.50
Cloruros (como Cl <sup>-</sup> )	250.00
Cobre	2.00
Cromo total	0.05
Dureza total (como CaCO <sub>3</sub> )	500.00
Fenoles o compuestos fenólicos	0.001
Hierro	0.30

Fluoruros (como F <sup>-</sup> )	1.50
Manganeso	0.15
Mercúrio	0.001
Nitratos (como N)	10.00
Nitritos (como N)	0.05
Nitrógeno amoniacal (como N)	0.50
pH (potencial de hidrógeno) en unidades de pH	6.5-8.5
Plagucidas en microgramos/l: Aldrin y dieldrin (separados o combinados)	0.03
Clordano (total de isómeros)	0.30
DDT (total de isómeros)	1.00
Gamma-HCH (lindano)	2.00
Hexaclorobenceno	0.01
Heptacloro y epóxido de heptacloro	0.03
Metoxicloro	20.00
2,4 - D	50.00
Plomo	0.025
Sodio	200.00
Sólidos disueltos totales	1000.00
Sulfatos (como SO <sub>4</sub> <sup>=</sup> )	400.00
Sustancias activas al azul de metileno (SAAM)	0.50
Trihalometanos totales	0.20
Zinc	5.00

Los límites permisibles de metales se refieren a su concentración total en el agua, la cual incluye los suspendidos y los disueltos.

#### 4.4 Límites permisibles de características radiactivas

El contenido de constituyentes radiactivos deberá ajustarse a lo establecido en la Tabla 4. Los límites se expresan en Bq/l (Becquerel por litro).

TABLA 4

CARACTERÍSTICA	LÍMITE PERMISIBLE
Radiactividad alfa global	0.1
Radiactividad beta global	1.0

#### 5. Tratamientos para la potabilización del agua

La potabilización del agua proveniente de una fuente en particular, debe fundamentarse en estudios de calidad y pruebas de tratabilidad a nivel de laboratorio para asegurar su efectividad.

Se deben aplicar los tratamientos específicos siguientes o los que resulten de las pruebas de tratabilidad cuando los contaminantes biológicos, las características físicas y los constituyentes químicos del agua enlistados a continuación, excedan los límites permisibles establecidos en el apartado 4.

##### 5.1 Contaminación biológica

5.1.1 Bacterias, helmintos, protozoos y virus.- Desinfección con cloro, compuestos de cloro, ozono o luz ultravioleta.

##### 5.2 Características físicas y organolépticas

5.2.1 Color, olor, sabor y turbiedad.- Coagulación-floculación-precipitación-filtración; cualquiera o la combinación de ellos, adsorción en carbón activado u oxidación.

**5.3 Constituyentes químicos**

- 5.3.1 Arsénico.- Coagulación-floculación-precipitación-filtración; cualquiera o la combinación de ellos; Intercambio iónico u ósmosis Inversa.
- 5.3.2 Aluminio, bario, cadmio, cianuros, cobre, cromo total y plomo.- Intercambio iónico u ósmosis Inversa.
- 5.3.3 Cloruros.- Intercambio iónico, ósmosis Inversa o destilación.
- 5.3.4 Dureza.- Ablandamiento químico o intercambio iónico.
- 5.3.5 Fenoles o compuestos fenólicos.- Adsorción en carbón activado u oxidación con ozono.
- 5.3.6 Hierro y/o manganeso.- Oxidación-filtración, Intercambio iónico u ósmosis Inversa.
- 5.3.7 Fluoruros.- Ósmosis Inversa o coagulación química.
- 5.3.8 Materia orgánica.- Oxidación-filtración o adsorción en carbón activado.
- 5.3.9 Mercurio.- Proceso convencional: coagulación-floculación-precipitación-filtración, cuando la fuente de abastecimiento contenga hasta 10 microgramos/l. Procesos especiales: en carbón activado granular y ósmosis Inversa cuando la fuente de abastecimiento contenga hasta 10 microgramos/l; con carbón activado en polvo cuando la fuente de abastecimiento contenga más de 10 microgramos/l.
- 5.3.10 Nitratos y nitritos.- Intercambio iónico o coagulación-floculación-sedimentación-filtración; cualquiera o la combinación de ellos.
- 5.3.11 Nitrógeno amoniacal.- Coagulación-floculación-sedimentación-filtración, desgasificación o desorción en columna.
- 5.3.12 pH (potencial de hidrógeno).- Neutralización.
- 5.3.13 Plaguicidas.- Adsorción en carbón activado granular.
- 5.3.14 Sodio.- Intercambio iónico.
- 5.3.15 Sólidos disueltos totales.- Coagulación-floculación-sedimentación-filtración y/o Intercambio iónico.
- 5.3.16 Sulfatos.- Intercambio iónico u ósmosis Inversa.
- 5.3.17 Sustancias activas al azul de metileno.- Adsorción en carbón activado.
- 5.3.18 Trihalometanos.- Alreación u oxidación con ozono y adsorción en carbón activado granular.
- 5.3.19 Zinc.- Destilación o Intercambio iónico.
- 5.3.20 En el caso de contingencia, resultado de la presencia de sustancias especificadas o no especificadas en el apartado 4, se deben coordinar con la autoridad sanitaria competente, las autoridades locales, la Comisión Nacional del Agua, los responsables del abastecimiento y los particulares; instituciones públicas o empresas privadas involucrados en la contingencia, para determinar las acciones que se deben realizar con relación al abastecimiento de agua a la población.

**6. Bibliografía**

- 6.1 "Desinfección del Agua", Oscar Cáceres López, Lima, Perú, Ministerio de Salud, Organización Panamericana de la Salud, Organización Mundial de la Salud, 1990.
- 6.2 "Guías para la Calidad del Agua Potable", Volumen 1: Recomendaciones, Organización Panamericana de la Salud, Organización Mundial de la Salud, 1985.
- 6.3 "Guías para la Calidad del Agua Potable", Volumen 2, Criterios relativos a la salud y otra información de base, Organización Panamericana de la Salud, 1987.
- 6.4 "Guía para la Redacción, Estructuración y Presentación de las Normas Oficiales Mexicanas", Proyecto de Revisión, SECOFI, 1992.
- 6.5 "Guide to Selection of Water Treatment Processes", Carl L. Hamann Jr., P.E., J. Brock McEwen, P.E., Anthony G. Meyers, P.E.
- 6.6 "Ingeniería Ambiental", Revista No. 23, Año 7, 1994.
- 6.7 "Ingeniería Sanitaria Aplicada a la Salud Pública", Francisco Unda Opazo, UTEHA 1969.
- 6.8 "Ingeniería Sanitaria y de Aguas Residuales", Purificación de Aguas y Tratamiento y Remoción de Aguas Residuales, Gordon M. Fair, John C. Geyer, Daniel A. Okun, Limusa Wiley, 1971.

6.9 "Instructivo para la Vigilancia y Certificación de la Calidad Sanitaria del Agua para Consumo Humano". Comisión Interna de Salud Ambiental y Ocupacional. Secretaría de Salud. 1987.

6.10 "Integrated Design of Water Treatment Facilities". Susumu Kawamura. John Wiley and Sons, Inc. 1991.

6.11 "Manual de Normas de Calidad para Agua Potable". Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas. 1982.

6.12 "Manual de Normas Técnicas para el Proyecto de Plantas Potabilizadoras". Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas. 1979.

6.13 "Reglamento de la Ley General de Salud en Materia de Control Sanitario de Actividades, Establecimientos, Productos y Servicios". Diario Oficial de la Federación, 18 de enero de 1988.

6.14 "Revision of the WHO Guidelines for Drinking-Water Quality". JPS. International Programme on Chemical Safety. United Nations Environment Programme. International Labour Organization. World Health Organization. 1991.

6.15 "WHO Guidelines for Drinking-Water Quality". Volume 1: Recommendations. World Health Organization. 1992.

6.16 "WHO Guidelines for Drinking-Water Quality". Volume 2. Health Criteria and Other Supporting Information. Chapter 1: Microbiological Aspects. United Nations Environment Programme. International Labour Organization. World Health Organization. 1992.

#### 7. Concordancia con normas Internacionales

Al momento de la emisión de esta Norma no se encontró concordancia con normas internacionales.

#### 8. Observancia de la Norma

Esta Norma Oficial Mexicana es de observancia obligatoria en todo el territorio nacional para los organismos operadores de los sistemas de abastecimiento públicos y privados o cualquier persona física o moral que distribuya agua para uso y consumo humano.

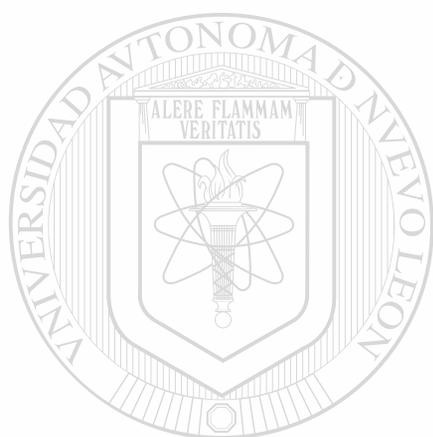
La vigilancia del cumplimiento de esta Norma Oficial Mexicana corresponde a la Secretaría de Salud y a los gobiernos de las entidades federativas en coordinación con la Comisión Nacional del Agua, en sus respectivos ámbitos de competencia.

#### 9. Vigencia

La presente Norma Oficial Mexicana entrará en vigor con carácter de obligatorio, al día siguiente de su publicación en el Diario Oficial de la Federación.

Sufragio Efectivo. No Reelección.

México, D.F., a 30 de noviembre de 1995.- El Director General de Salud Ambiental, Gustavo Olaiz Fernández.- Rúbrica.



## **ANEXO C**

**PLANOS**

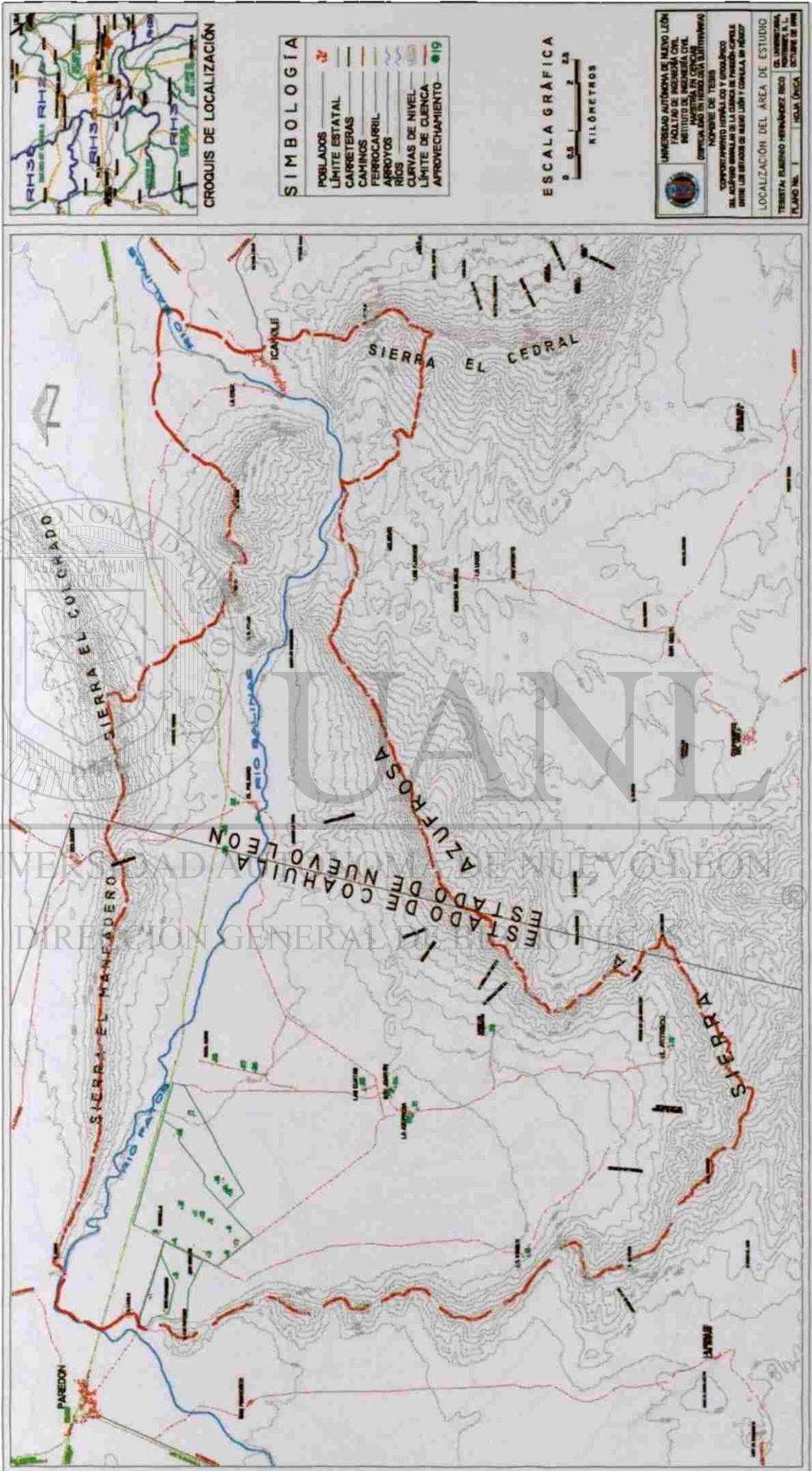
# UANL

---

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



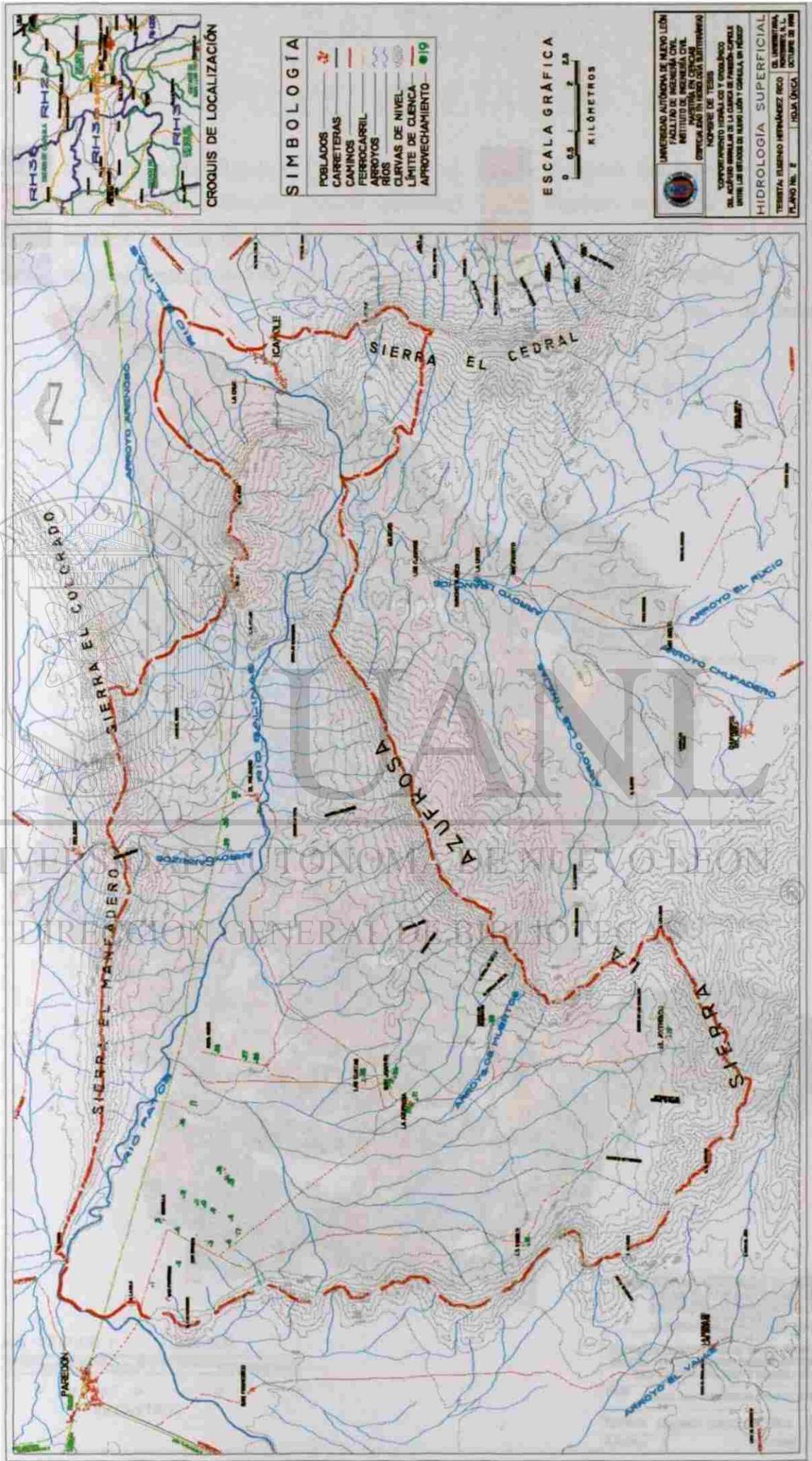
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

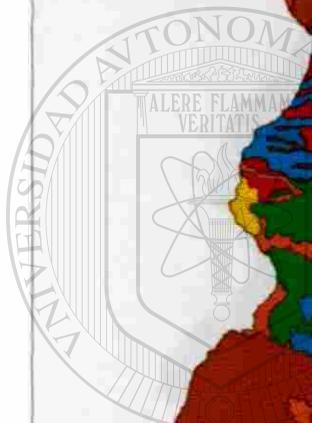
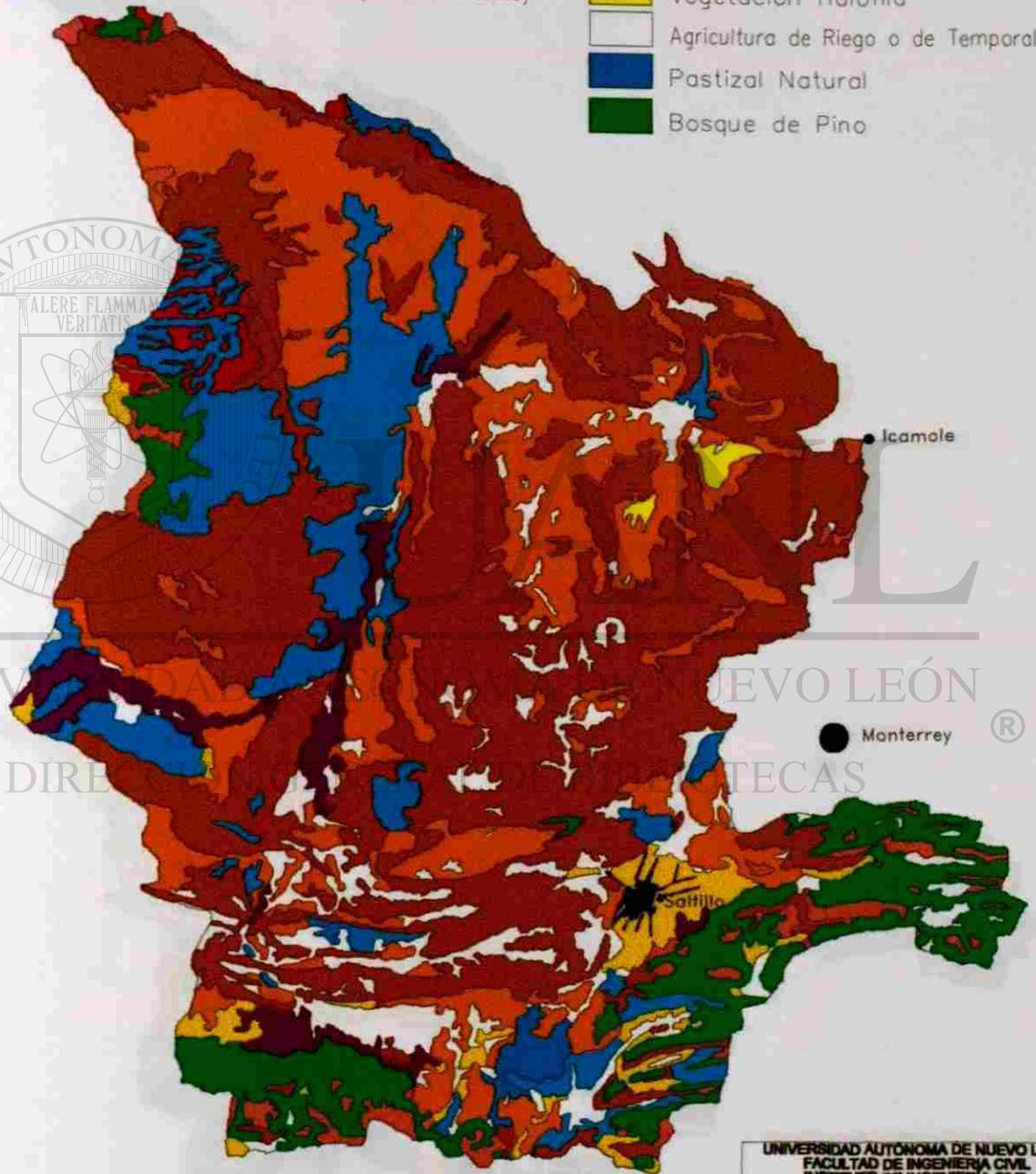
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECA



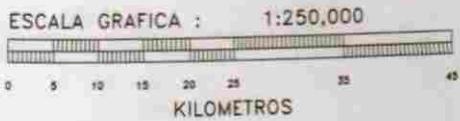
# CUENCA SALTILLO-ICAMOLE

## TIPO DE VEGETACIÓN

- |                                                                                   |                                                    |                                                                                   |                                    |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|
|  | Matorral Desértico Rosetofilo (Crasi-Rosulifolios) |  | Matorral Submontano                |
|  | Matorral Desértico Microfilo (Matorral Subinérme)  |  | Pastizal Inducido                  |
|  | Matorral Desértico Microfilo (Matorral Espinoso)   |  | Chaparral                          |
|  | Matorral Desértico Microfilo (Matorral Inérme)     |  | Vegetación Halófila                |
|                                                                                   |                                                    |  | Agricultura de Riego o de Temporal |
|                                                                                   |                                                    |  | Pastizal Natural                   |
|                                                                                   |                                                    |  | Bosque de Pino                     |



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN  
 DIRECCIÓN DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS Y TECNOLÓGICAS



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN  
 FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
 INSTITUTO DE INGENIERÍA CIVIL  
 UNIDAD DE GUADALUPE  
 ESPECIALIDAD EN HIDROLOGÍA SUBTERRÁNEA

NOMBRE DE TESIS  
 COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO Y GEOQUÍMICO DEL ACUÍFERO GRANULAR DE LA CUENCA DE PAREDÓN-ICAMOLE, ENTRE LOS ESTADOS DE NUEVO LEÓN Y COAHUILA, EN MÉXICO

TEMA: HIDROLOGÍA SUPERFICIAL (TIPO DE VEGETACIÓN)

TESISTA: Eugenio Hernández Páez

PLANO No.: 3

HOLA ÚRGA

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN  
 MONTERREY, N.L.  
 ABRIL 1988

# CUENCA SALTILLO-ICAMOLE

## TIPO DE SUELO



ESCALA GRAFICA : 1:250,000

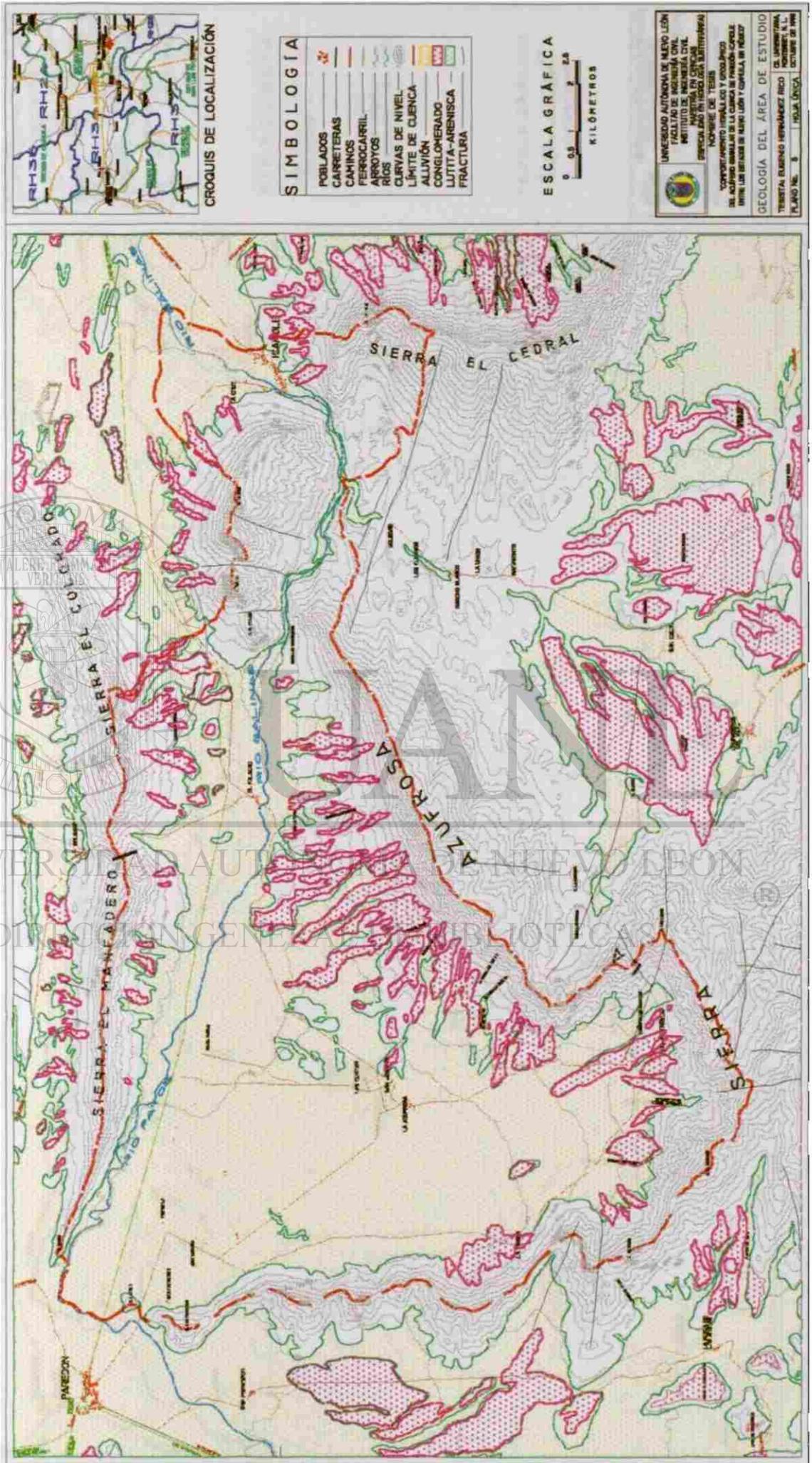


UNIVERSIDAD AUT3NOMA DE NUEVO LE3N  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL  
INSTITUTO DE INGENIERIA CIVIL  
ESPECIALIDAD EN HIDROLOGIA SUBTERRANEA

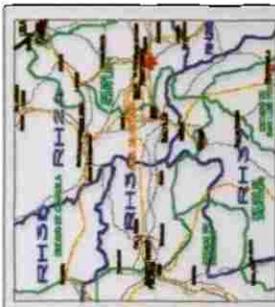
NOMBRE DE TEMA  
COMPORTAMIENTO HIDRULICO Y RECHUBICO DEL ACUIFERO GRANULAR DE LA CUENCA DE PARIS3N-ICAMOLE, ENTRE LOS ESTADOS DE NUEVO LE3N Y COAHUILA, EN M3XICO

TEMA: HIDROLOGIA SUPERFICIAL (TIPO DE SUELO)

TECNISTA:	Esquivel Hern3ndez Rico	CO. UNIVERSITARIA MONTERREY, NL, AÑO 1988
PLANO No.:	4	HOJA LIBRO

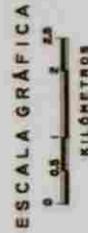


UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN  
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



**SIMBOLOGÍA**

POBLADOS	3
CARRETERAS	—
CANINOS	—
FERROCARRIL	—
CURVAS DE NIVEL	—
LÍMITE DE CUENCA	—
APROVECHAMIENTOS	19

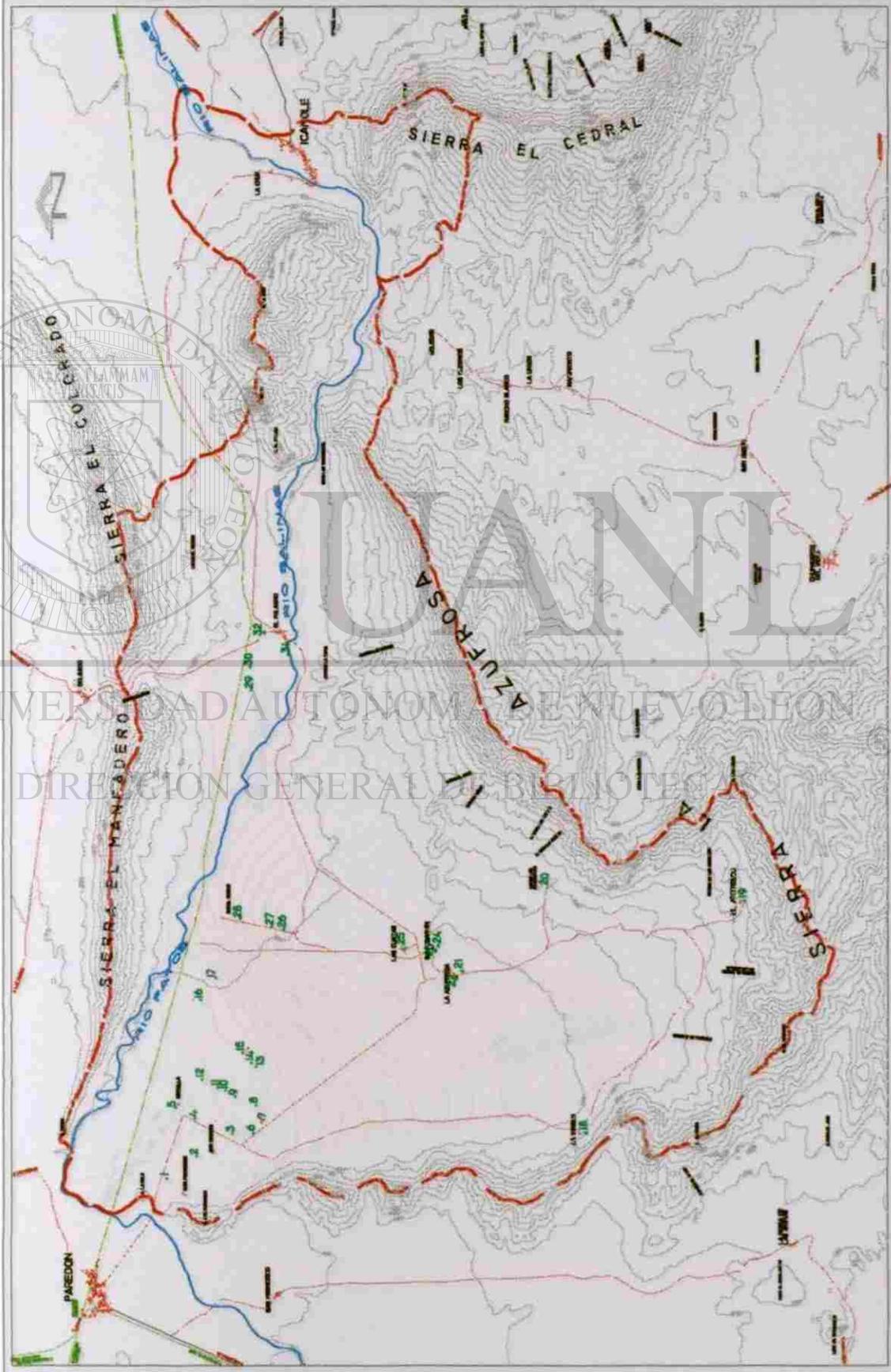


UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN  
 FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
 INSTITUTO DE INGENIERÍA CIVIL  
 CARRERA PROFESIONAL EN INGENIERÍA CIVIL  
 MÓDULO DE TESIS

CONFERENTE: INGENIEROS Y AGROPECUOS  
 DR. ADRIÁN BARRAL Y LA CUNCA DE INGENIEROS-CAPITALE  
 ENTRE LOS ESTADOS DE NUEVO LEÓN Y COAHUILA, EN MÉXICO

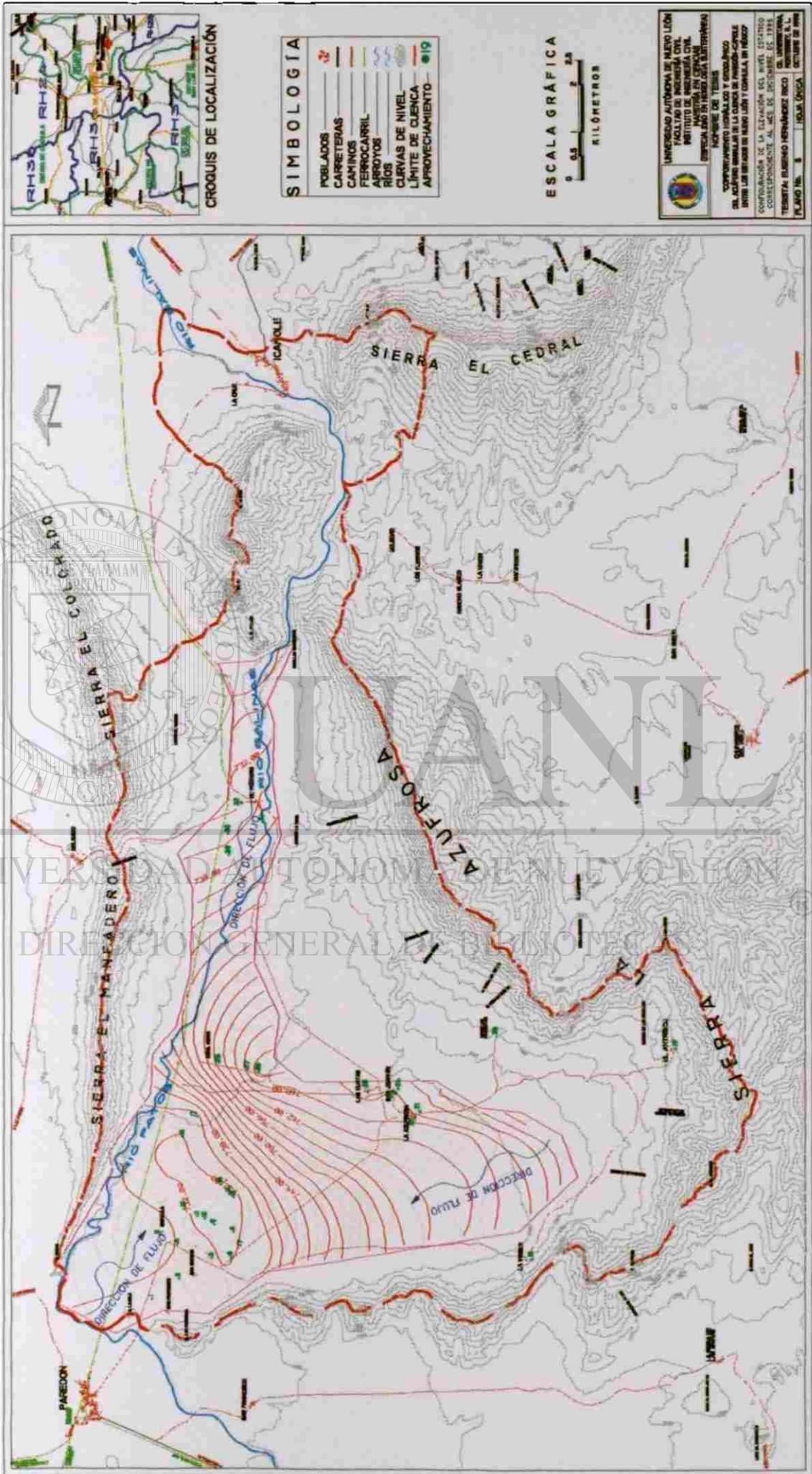
LOCALIZACIÓN DE APROVECHAMIENTOS EN LA  
 CUENCA DEL PARADÓN-ICAMOLLL  
 TERRITORIO SIERRA HERNÁNDEZ RICO

PLANO No. 6 | HOJA ÚNICA | OCTUBRE DE 1998

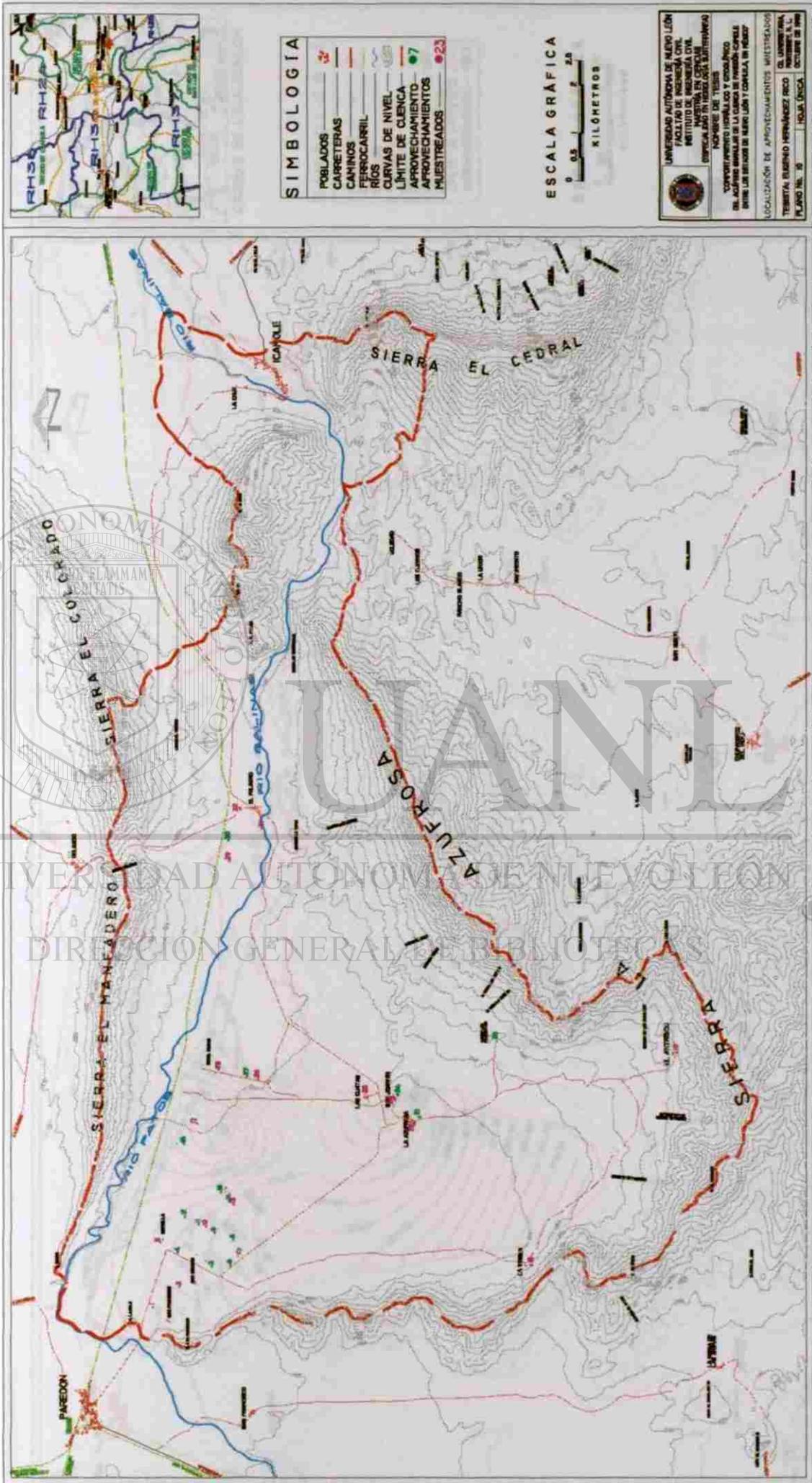


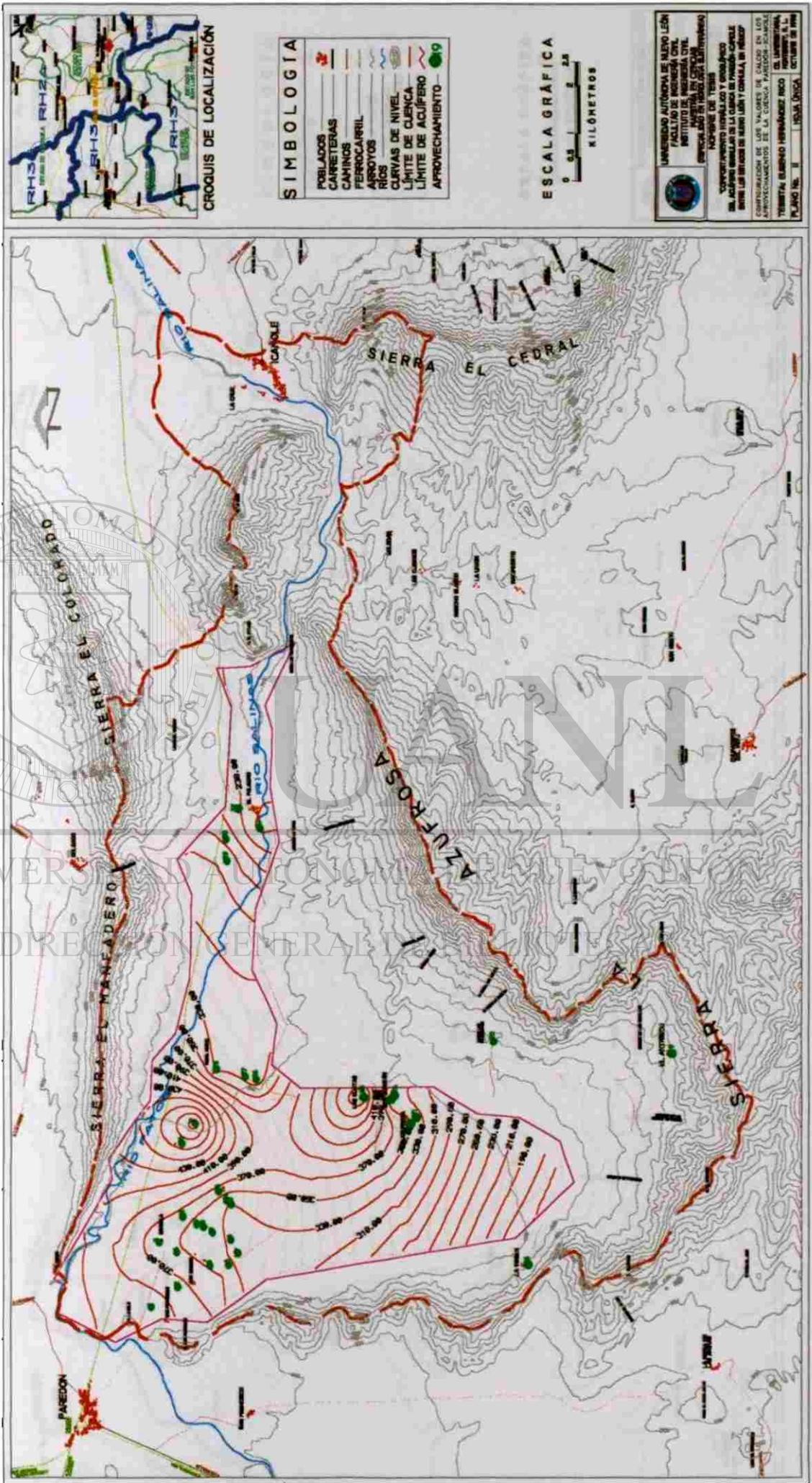
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN  
 DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

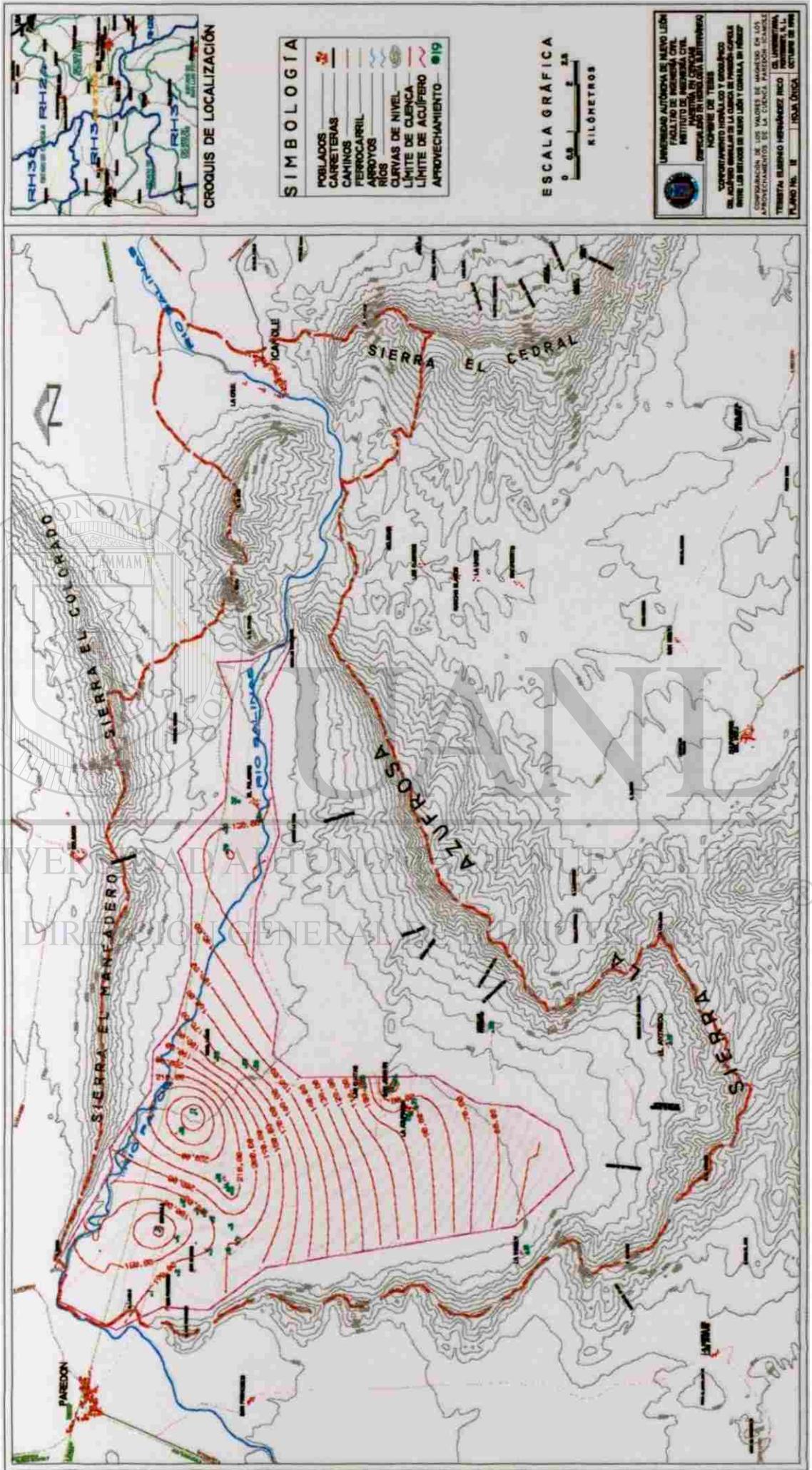


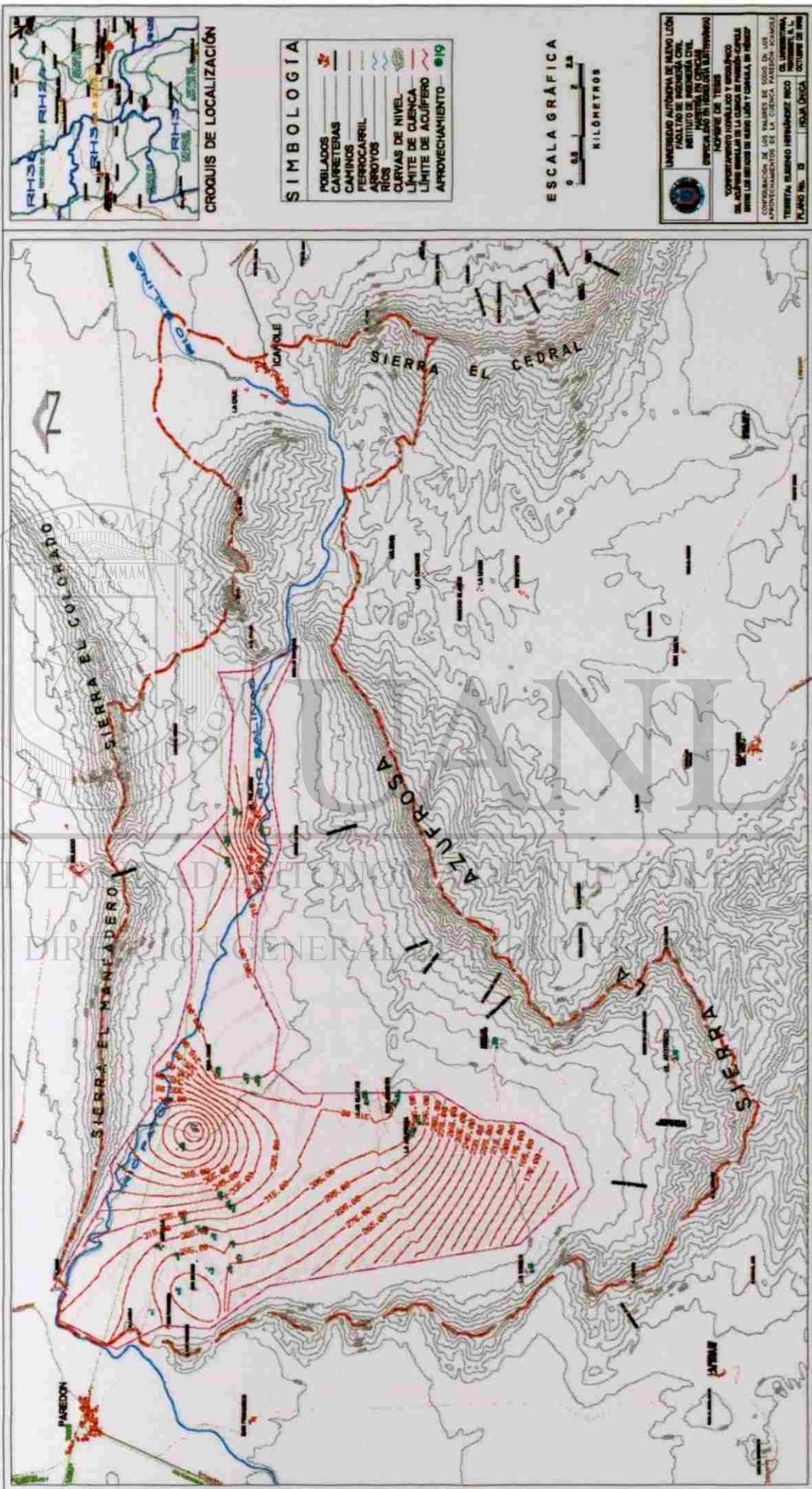


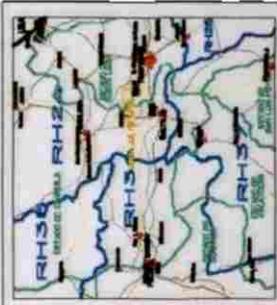












CROQUIS DE LOCALIZACIÓN

**SIMBOLOGÍA**

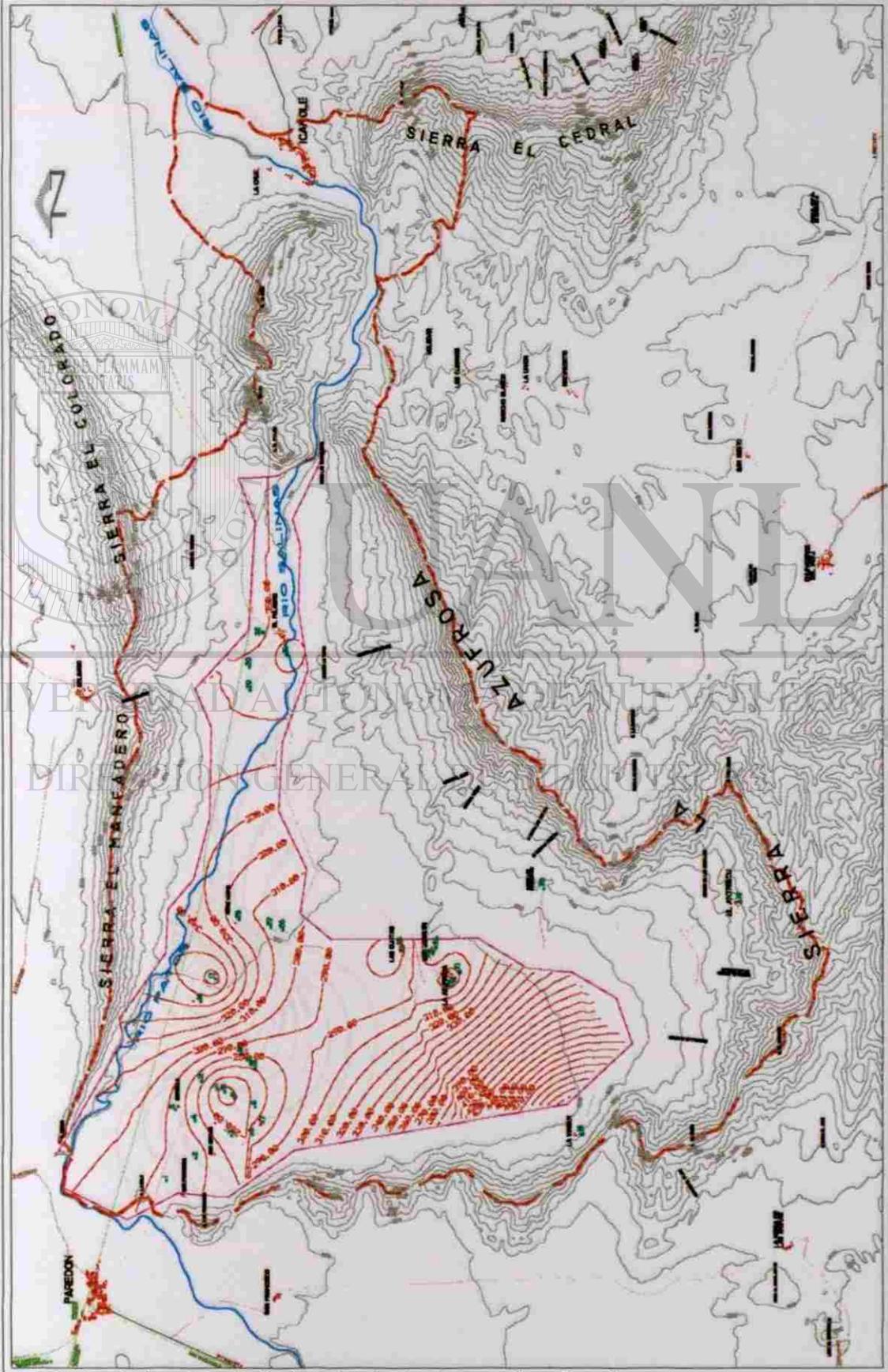
POBLADOS	
CARRETERAS	
CAMINOS	
FERROCARRIL	
AERODOTOS	
RIOS	
CURVAS DE NIVEL	
LÍMITE DE CUENCA	
LÍMITE DE ACUÍFERO	
APROVECHAMIENTO	



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN  
 FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
 INSTITUTO DE INGENIERÍA CIVIL  
 ESPECIALIDAD EN INGENIERÍA DE SANEAMIENTO  
 NOVIEMBRE DE 2015

CONFECCIÓN DEL DISEÑO Y GRAFICACIÓN  
 DEL ACUÍFERO EN LA CUENCA DE PIEDRA NEGRA  
 ENTRE LOS RÍOS DE SAN JUAN Y SAN JUAN DE LOS RÍOS

CONFIRMACIÓN DE LOS VALORES DE REGISTRACIÓN:  
 EL INGENIERO  
 TITULAR DEL REGISTRO PROFESIONAL  
 PLAZO No. 11 1934 ÚNICA



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN  
 INSTITUTO DE INGENIERÍA CIVIL  
 DIRECCIÓN GENERAL DE INVESTIGACIONES



CROQUIS DE LOCALIZACIÓN

**SIMBOLOGIA**

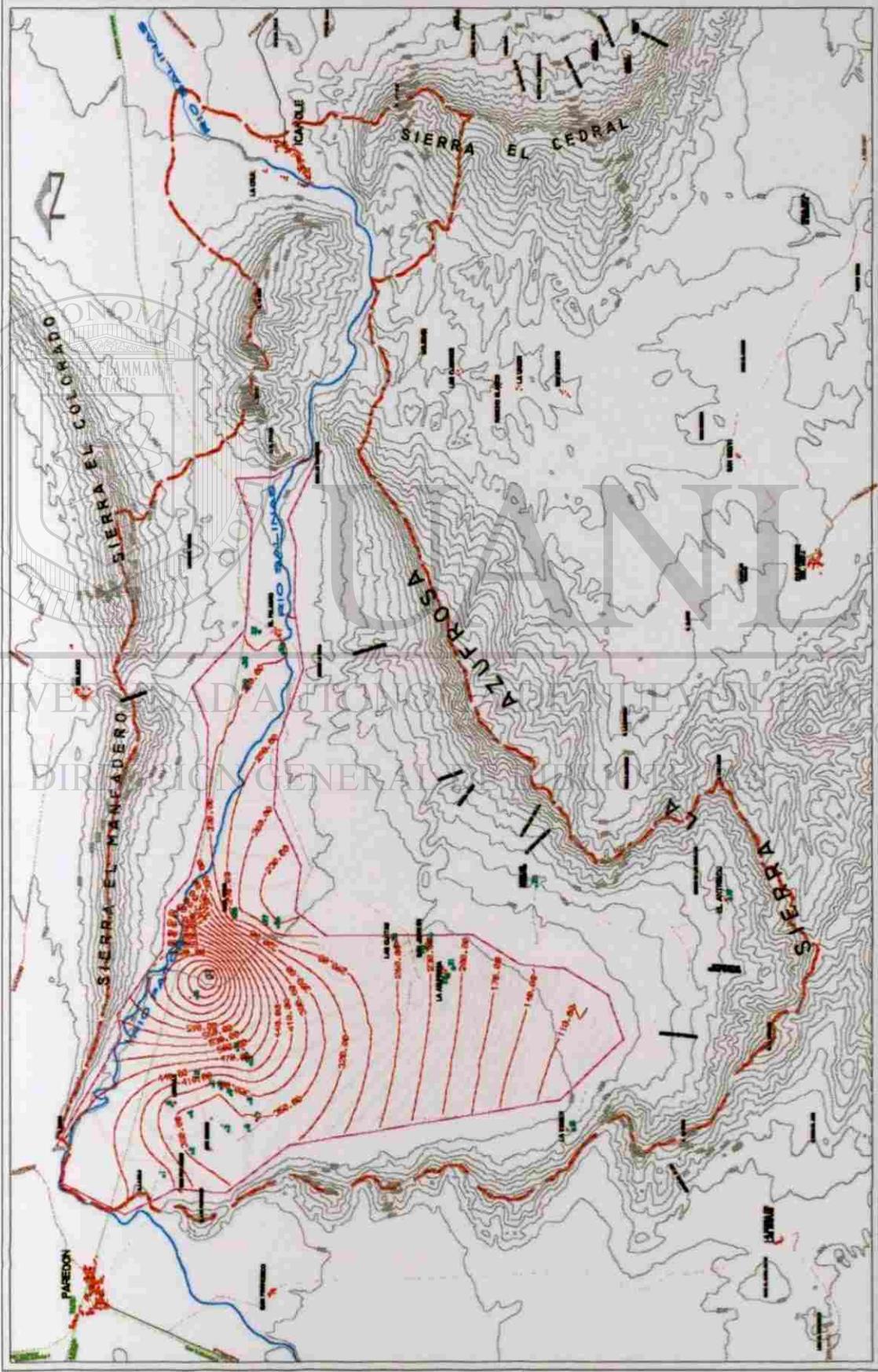
- POBLADOS
- CARRETERAS
- CAMINOS
- FERROCARRIL
- ARROYOS
- RÍOS
- CURVAS DE NIVEL
- LÍMITE DE CUENCA
- LÍMITE DE ACUÍFERO
- APROVECHAMIENTO 019

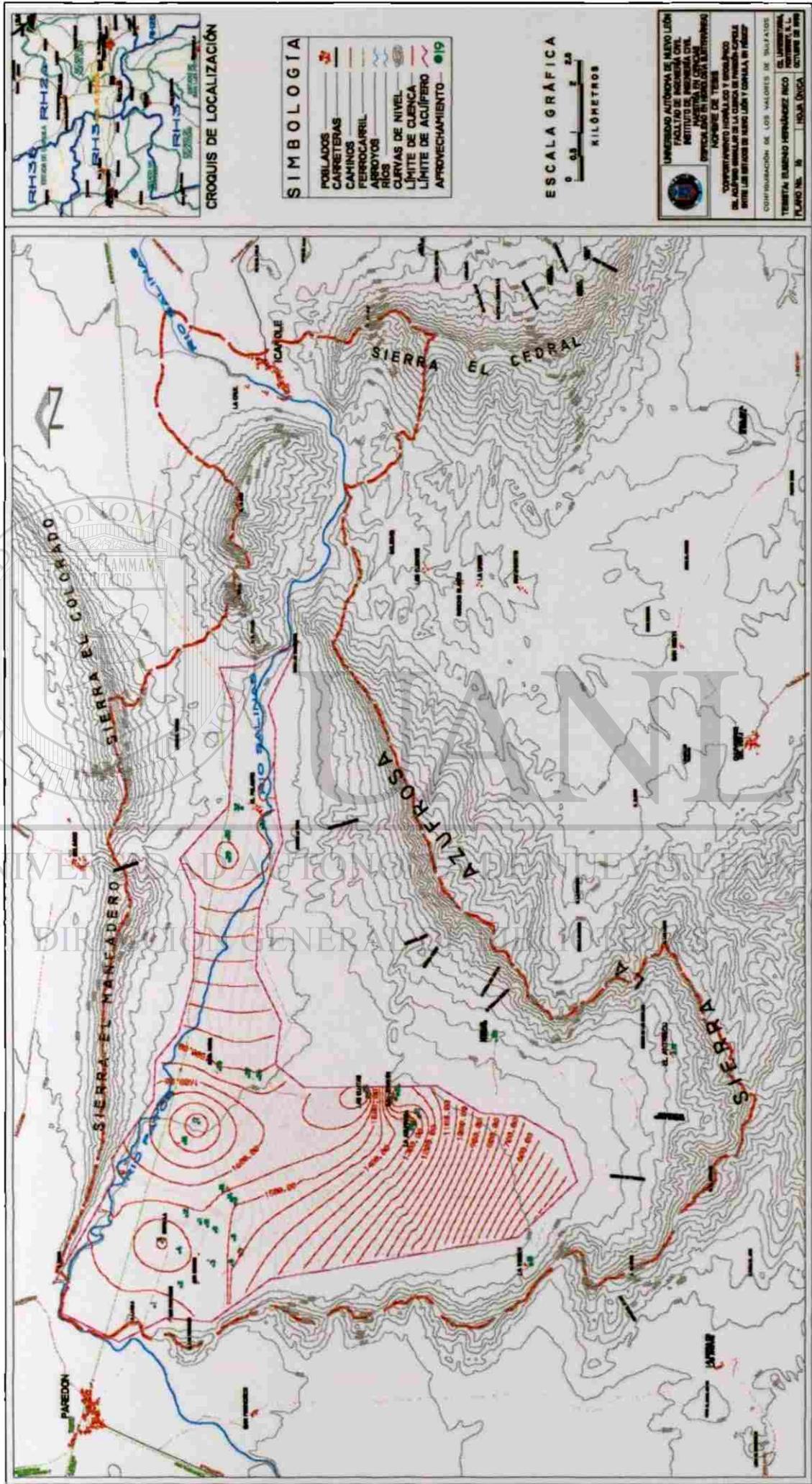
**ESCALA GRÁFICA**



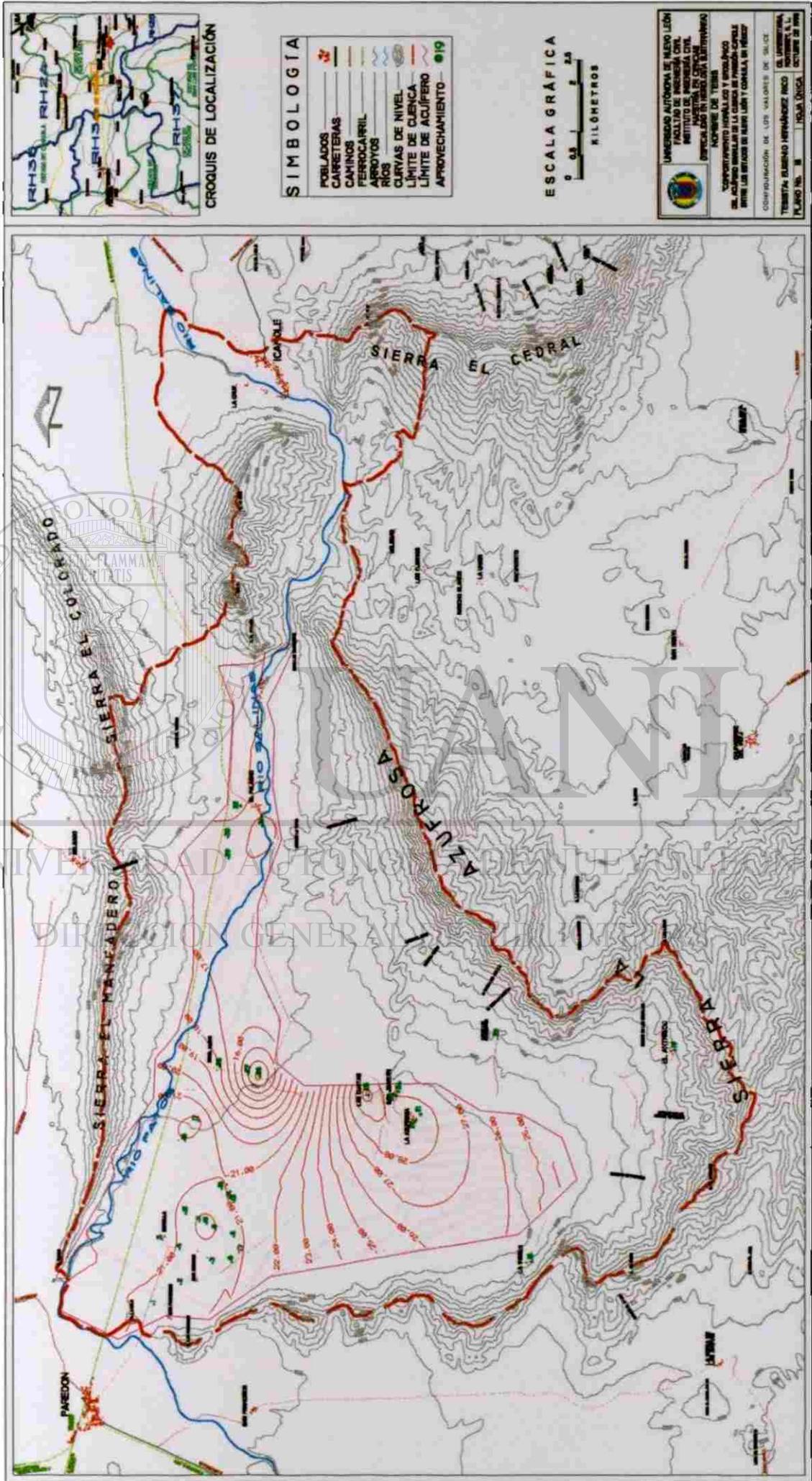
KILÓMETROS

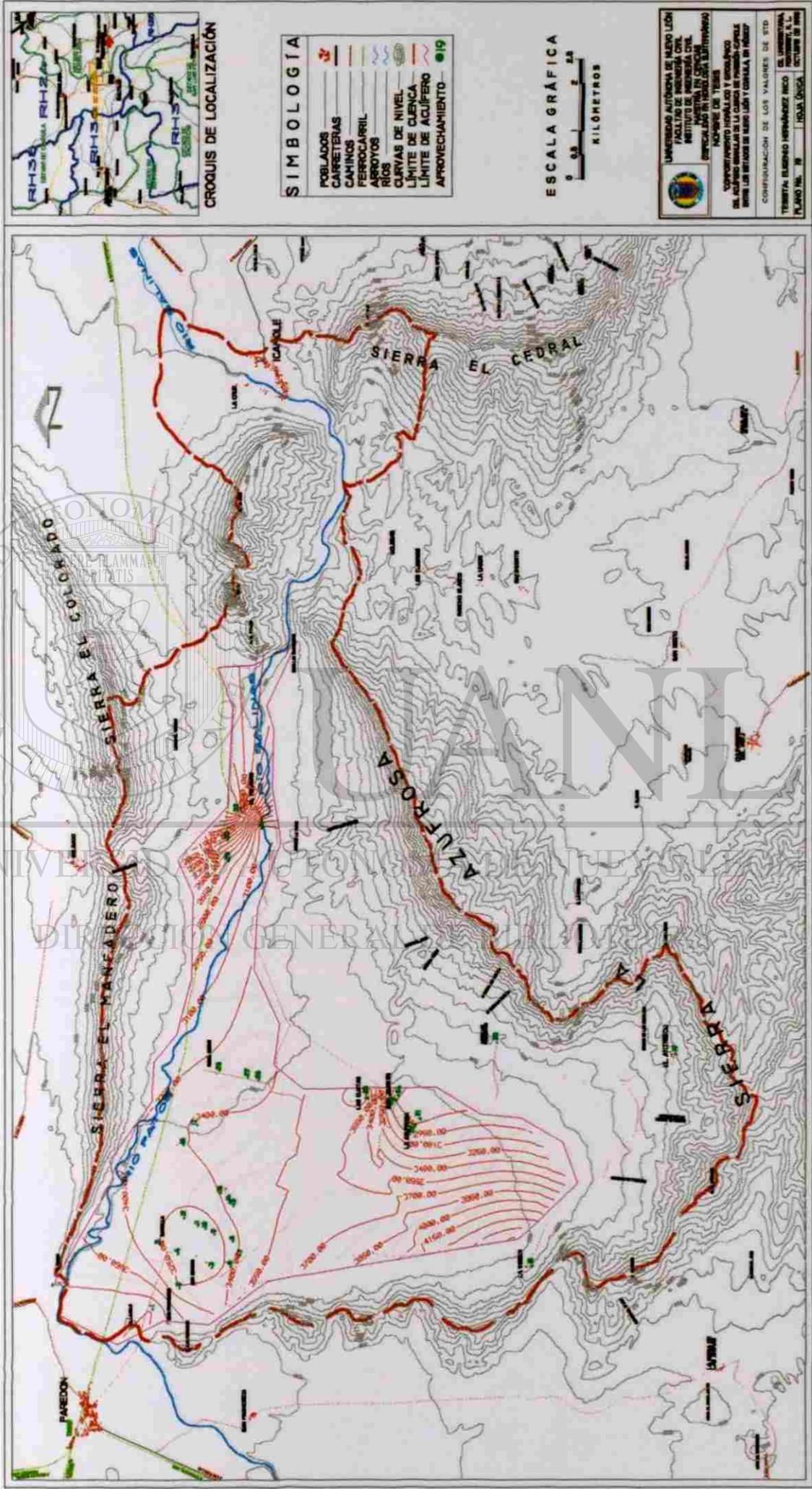
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN  
 FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
 INSTITUTO DE INGENIERÍA EN OBRAS  
 DE ACUÍFERO Y HIDROLOGÍA (IIH)  
 COORDINADOR DE TESIS  
 DR. JOSÉ ANTONIO GARCÍA GONZÁLEZ  
 ENTRE LOS SITIOS DE NUEVO LEÓN Y CANAL DE  
 DISTRIBUCIÓN DE LOS VALORES DE CUERPOS  
 DE LA UNIVERSIDAD  
 TESIS PARA OBTENER EL GRADO DE INGENIERO EN OBRAS  
 DE ACUÍFERO Y HIDROLOGÍA  
 PLANO No. 8 HSA/0054

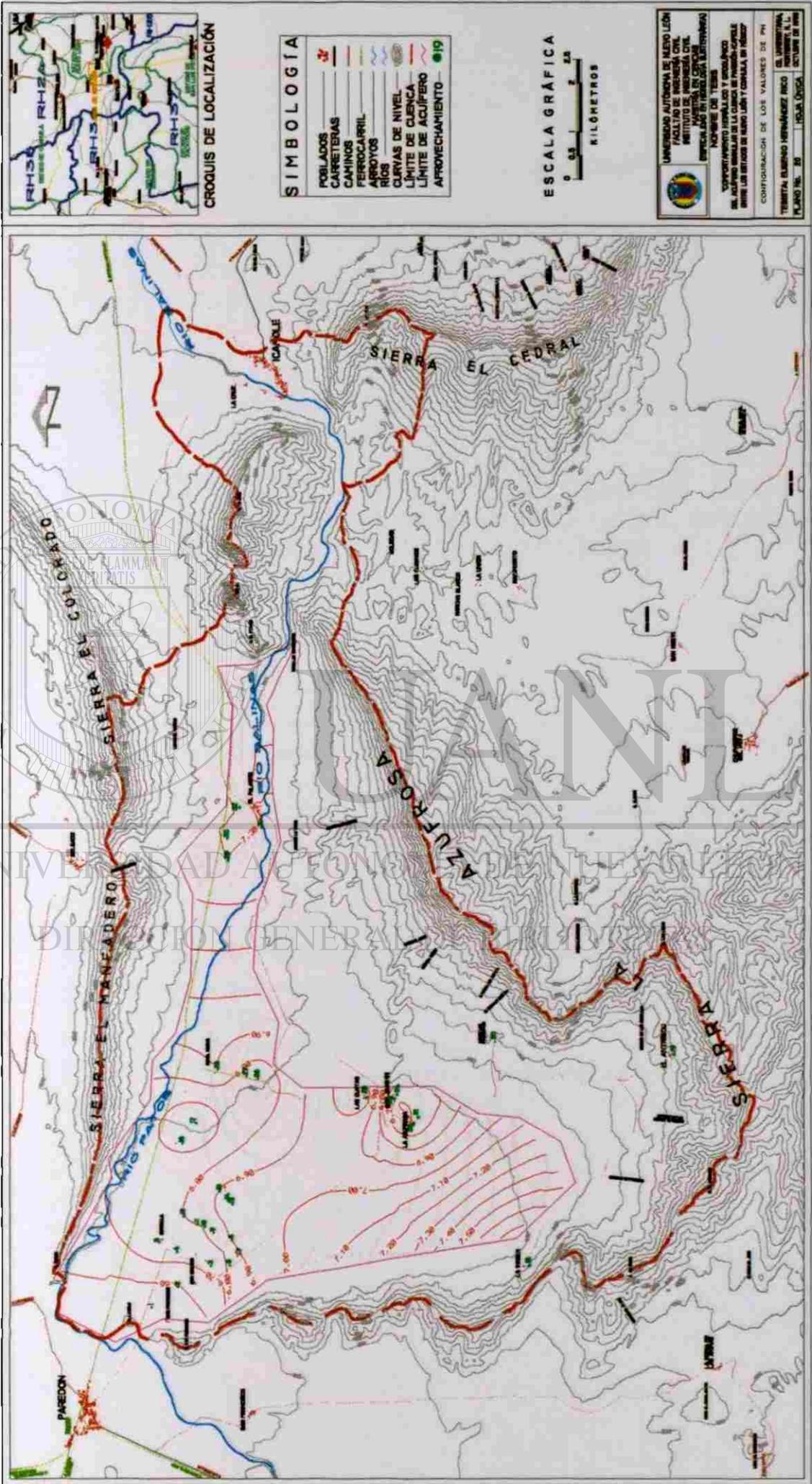














## RESUMEN AUTOBIOGRAFICO

Eugenio Hernández Rico

Candidato para el Grado de

Maestro en Ciencias con Especialidad en Hidrología Subterránea

Tesis: COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO Y GEOQUÍMICO DEL ACUÍFERO GRANULAR DE LA CUENCA DE PAREDÓN-ICAMOLE, ENTRE LOS ESTADOS DE NUEVO LEÓN Y COAHUILA, EN MÉXICO.

Campo de Estudio: Ciencias de la Tierra

Biografía:

Datos Personales: Nacido en Comonfort, Guanajuato, el 23 de Marzo de 1970, hijo de Eugenio Hernández Llanito y Ma. Santos Rico Flores.

Educación: Egresado de la Universidad Autónoma de Querétaro, grado obtenido Ingeniero Civil en 1993, aprobado con el 50 % de créditos en la Maestría en Ingeniería Hidráulica.

Experiencia Profesional: Supervisor de Obra en las Compañías Constructoras de Grupo Cóndor y Capiztrán Fernández S. A.

Auxiliar en el Departamento de Cartografía del H. Ayuntamiento de Querétaro.

Ingeniero de Campo en el seguimiento geotécnico de los Túneles de la Loma Larga, Monterrey, N. L. (TGC, Geotecnia, S. A.).

Ingeniero de Proyecto en el Departamento de Hidráulica de la Comisión Federal de Electricidad (CFE) y actualmente Asistente de Proyecto en el Departamento de Geohidrología de la CFE.

