



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

---

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**CARACTERIZACIÓN DE LAS FASES  
MINERALES EN ARENAS DE UN  
POZO UBICADO EN EL GOLFO DE  
MÉXICO.**

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
**INGENIERA GEÓLOGA**  
P R E S E N T A N:  
**SANTILLÁN ARRIAGA NORA  
TORRES HERNÁNDEZ JESSICA**



**DIRECTOR: ING. MIGUEL I. VERA OCAMPO**

**MÉXICO, D.F.**

**2004**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

Agradecemos a la **Universidad Nacional Autónoma de México** por permitirnos pertenecer a esta máxima casa de estudios y por abrirnos las puertas del conocimiento para nuestra formación como profesionistas.

A la **Facultad de Ingeniería** por acogernos en sus aulas durante nuestra formación de ingenieras.

Al **Ing. Miguel Vera Ocampo** por todo el tiempo y el apoyo incondicional que nos brindó para la elaboración de este trabajo, el cual nos permite concluir una etapa más en nuestra formación como profesionistas.

Al **Ing. Alberto Herrera Palomo** por todo el apoyo brindado, por los comentarios y por estar al pendiente de este trabajo.

A los **Ing. Germán Arraiga, Héctor Luis Macias, Víctor Damián Pinilla, Fernando Rosique** por dedicar tiempo a la revisión de esta tesis y a los comentarios hechos para mejorarla.

Al **Ing. S. Carlos Rodríguez Díaz** por dedicarnos parte de su tiempo para leer este trabajo y darnos sus comentarios.

A **Don Pepe, Don Roberto, Juan José Ramírez Estrada y Jorge A. Cuevas** por su apoyo en los laboratorios de petrografía, sedimentología y laminación.

**Nora Santillán Arriaga**  
**Dedicatorias**

- Este trabajo es un reconocimiento y agradecimiento a la gente que amo y que han formado una parte muy importante de mi vida, que están cerca o lejos, pero siempre estarán en mi corazón.
- **A Dios**, ese ser en quién yo creo, que me permitió existir en este tiempo y espacio, además de permitirme conocer a la gente que amo, en quién encuentro consuelo en momentos difíciles y comparte mis triunfos y anhelos.
- A una persona muy importante y un ejemplo a seguir en mi vida, que además de darme la vida le agradezco tantas cosas, ese tiempo valioso que me has dedicado, tus palabras y consejos, por ser una Madre fabulosa por brindarme tu amor incondicional, por compartir mis triunfos y fracasos, mis risas y llantos, mis noches de desvelo y mis sueños anhelados, por creer en mí... **Mamá**, Creo las palabras son pocas para expresarte todo lo que eres para mí.
- **A mi hermana Martha**, aunque no estas físicamente, estas en mi corazón, nunca dudaste de este momento y ahora estoy aquí agradeciéndote todo lo hiciste por mí, por apoyarme en mi carrera, por creer en mí y por ese ejemplo de hermana mayor que me diste.
- A mis hermanos: **Claudia**, que quizás con sus perfecciones me ayuda, con su cariño me apoya y se que puedo contar contigo en cualquier momento, a **Luis y Enrique**, que me

dan su cariño y con quienes viví una niñez difícil de olvidar, los quiero mucho.

- A una persona muy especial, que a pesar del poco tiempo que te conocí, me brindaste tu cariño y me has apoyado en la realización de este trabajo, que aprendí que no importa el tiempo ni la distancia para lograr lo que uno quiere, que las cosas lindas suceden en la vida y se quedan en nuestros corazones, que soñar es lindo, pero la realidad es la que cuenta. **Gracias Carlos.**
- A una amiga a quien quiero mucho, que pasamos momentos felices y tristes, de quién he sentido su apoyo y su amistad incondicional, sé que existen personas así difícil de encontrar y sé que no siempre se aprende a valorar, pero sé que aún puedo seguir contando contigo, gracias **Karla...**
- **A mi Papá** quién siempre esta en mis pensamientos y oraciones
- **A mis abuelitas Sixta y Nieves**
- Con cariño para **Angélica** que me brinda una linda amistad y que compartimos lindos momentos.
- A alguien con quien compartí materias, practicas y trabajos de la carrera, con quién realice este trabajo y me brindo su amistad. **Jessica T.H.**
- A **Lucero** quien brinda una amistad incondicional.
- A **Luz** por saber dar una amistad sincera y muy bonita

- A **Bety** Melgarejo, quien es una persona sincera y brinda una amistad sincera e incondicional.
  
- A la gente que quiero y que conocí en mi camino de estudiante, de la secundaria y en la universidad, con quienes compartí esta etapa de mi vida: **Claudia** Magdaleno, **Vicenta**, **Nancy Tania**, **Lucio**, **Pablo**, a ese gran grupo de geólogos: **Eric**, **Sandra**, **Ale** Mayo, **Dante**, **Gonzálo**, **Amelia**, **Lupita** Alvarado, **Arturo** Rojo, **Irasema**, **Pedro**, **Iván** Vargas, **Iván** Vladimir, **Valentín**. **Nancy** Gómez, **Igor**, **Mario**, **Isaías**, **Alexis**.

**Jessica Torres Hernández**  
**Dedicatorias**

- ◆ Este trabajo es el fin de una etapa que con muchos sacrificios hoy vez terminada, pero esto no hubiera sido posible sin tu ejemplo y tu incondicional apoyo. GRACIAS POR TODO LO QUE ME HAS DADO. Con mucho amor y reconocimiento **A mi mamá Alicia.**
  
- ◆ Siempre creíste que lo lograría, y estuviste al pendiente todos los días, guiándome por el mejor camino para que así fuera y te lo agradezco mucho. **A mi mamá Rebeca.**
  
- ◆ Gracias por tus consejos y tu apoyo siempre incondicional. **A mi abuelo Juan.**
  
- ◆ El mejor regalo que me pudo dar la vida es formar una familia con ustedes, gracias por su apoyo y por todos los momentos felices que hemos pasado juntos. Con mucho amor y espero que les sirva de ejemplo. **A mis hermanos Jonatan, Andrea y Adriana.**
  
- ◆ El amor siempre es un motor para seguir adelante es por eso que te agradezco mucho el apoyo que me has brindado en este camino que hemos recorrido juntos, pero sobretodo por estar conmigo en este momento tan importante. Recuerda siempre que T. Q. M. **A Mauricio**
  
- ◆ Gracias por creer siempre en mi y estar al pendiente todos los días de mi vida. Su ejemplo ha sido una guía. **A mis tíos Juan, David y Omar**

- ◆ Siempre he sentido su apoyo y se que estarán ahí siempre que los necesite. Con mucho cariño a **Verónica, Iván y Ma. Fernanda.**
- ◆ A dos pequeñines que quiero mucho. **A mis primos Susana y Joaquín.**
- ◆ Con mucho cariño a mi **tía Rosario** y mis primas **Rocío, Rosario y Alejandra..**
- ◆ Siempre has estado conmigo y pendiente de mis cosas Gracias. **A mi abuelo Rafael** y en memoria de **mama Licha** que desde donde esté sé que siempre esta conmigo.
- ◆ Han compartido conmigo todos mis triunfos y fracasos y siempre han estado ahí para apoyarme. Gracias. **A mis tios Angeles y Rafael, Genoveva y Francisco, Angelica y Gabriel**
- ◆ A dos personas que quiero mucho a mi comadre **Liliana** por estar al pendiente siempre y a mi ahijada **Ingrid** con mucho cariño.
- ◆ Por enseñarme lo valioso de la amistad, gracias por compartir conmigo este trabajo y por la amistad incondicional que siempre me has ofrecido. **A Nora**
- ◆ A unos buenos amigos que sin ustedes mi estancia en la Facultad no hubiera sido lo mismo, con mucho cariño:  
**Daniel, Raúl, Paco, Gerardo, Hugo, Rafa, Fabiola, Noe, Arturo, Marco A. , Angeles, Carolina, Marilu, Israel, Julio R.**

- ◆ A los geólogos por el tiempo que compartimos juntos en practicas y en los salones de clase que son recuerdos que nos llevamos por siempre con mucho cariño:

**Sandra, Beatriz, Eric, Gonzalo, Gerardo, Igor, Ivan, Alexis, Mario, Isaías, Valentin, Juan R., Dante, Diana, Pedro, Víctor, Amelia, Arturo**

---



---

**ÍNDICE**

<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
---------------------------	----------

**CAPÍTULO 1 GENERALIDADES**

1.1 Antecedentes .....	3
1.2 Objetivo .....	7
1.3 Método de trabajo .....	7

**CAPÍTULO 2 MARCO CONCEPTUAL**

2.1 Atributos texturales .....	13
2.1.1 Tamaño .....	14
2.1.2 Selección .....	18
2.1.3 Forma .....	19
2.1.4 Redondez y esfericidad .....	20
2.1.5 Madurez .....	23
2.1.5.1 Madurez textural y mineralógica .....	23
2.1.5.2 Inversión textural .....	27
2.2 Petrogénesis .....	28
2.2.1 Procedencia .....	29
2.2.2 Intemperismo .....	33
2.2.2.1 Intemperismo mecánico .....	34
2.2.2.2 Intemperismo químico .....	35
2.2.3 Transporte .....	38
2.2.4 Depósito .....	42
2.2.4.1 Ambientes sedimentarios continentales .....	44
2.2.4.2 Ambientes sedimentarios de transición .....	45
2.2.4.3 Ambientes sedimentarios marinos.....	46
2.2.5 Diagénesis .....	48

**CAPÍTULO 3 MARCO GEOLÓGICO**

3.1 Ubicación del área de estudio .....	53
3.2 Historia geológica de la región .....	54
3.3 Geología regional .....	60

**CAPÍTULO 4 PROBABILIDAD APLICADA A FASES MINERALES EN ARENAS**

4.1 Introducción ..... 66  
 4.2 Representación Gráfica de Datos ..... 69  
 4.3 Aplicación ..... 72

**CAPÍTULO 5 ANÁLISIS DE RESULTADOS**

5.1 Análisis Granulométrico ..... 75  
 5.2 Petrografía ..... 76  
 5.3 Propiedades Físicas de las Arenas ..... 77  
 5.4 Interpretación Geológica de los Histogramas ..... 84  
 5.5 Distribución de las Fases Minerales en las Mallas ..... 88  
 5.6 Características Geológicas de las Arenas ..... 90

**CAPÍTULO 6 CONCLUSIONES ..... 94**

**ANEXO A TABLAS..... 97**

**ANEXO B GRÁFICAS DE DISTRIBUCIÓN TOTAL ..... 101**

**ANEXO C HISTOGRAMAS ..... 105**

**ANEXO D DIAGRAMAS DE SECTORES ..... 118**

**BIBLIOGRAFÍA ..... 131**

## INTRODUCCIÓN

Uno de los objetivos de la Facultad de Ingeniería, es proporcionar a los alumnos de la carrera de Ingeniería Geológica los elementos y las bases necesarias que contribuyan al aprendizaje, buen desempeño y desarrollo de profesionistas. Es por ello; que siguiendo la misma línea, este trabajo está enfocado a reforzar los conocimientos en la identificación de minerales utilizando diversas herramientas como el microscopio estereoscópico y petrográfico, con el cual se pueden determinar las características texturales de los minerales obteniéndose así diversa información tal como: condiciones de transporte, sedimentación y procedencia.

La Petrología Sedimentaria es una de las disciplinas de gran importancia para la formación de profesionistas en Ingeniería Geológica. Por tanto, para la reconstrucción de la historia geológica a partir de las rocas sedimentarias es indispensable conocer la forma en que influyen cada una de las posibles condiciones del ambiente sobre las características de composición, ordenación y distribución. El estudio adecuado de láminas delgadas brinda información importante acerca de los procesos de formación de los sedimentos así como de algunas propiedades petrofísicas de las rocas como es la porosidad y la permeabilidad. Al ocuparse de las rocas sedimentarias, se enfatiza el concepto de que estas rocas son producto de herencia y ambiente; éste último es el más importante para sedimentos no clásticos ya que el ambiente sedimentario representa un equilibrio entre los procesos mecánicos, biológicos y químicos (salinidad, acidez).

El análisis de los sedimentos no clásticos y de los procesos sedimentarios que los forman requieren la consideración completa de aquellos factores ambientales que tienen mayor influencia en la producción, transporte, depósito y modificación subsecuente del sedimento, por tanto la información que proporcionan es muy importante ya que tiene aplicación en las distintas ramas de la geología (petróleo, geohidrología, yacimientos minerales, geotecnia y geología ambiental).

Por otra parte, la importancia de utilizar arenas en reconstrucciones paleogeográficas y paleotectónicas es trascendente de acuerdo a su abundancia y a la cantidad de información que éstas proveen, particularmente en análisis microscópicos. El término arena es usado en este trabajo en un sentido textural (Pettijohn, 1949), lo que significa que son granos que van de 0.0625 a 2 mm de diámetro, independientemente de su composición y su génesis (Grabau, 1904).

Los factores que controlan la composición de las arenas son extremadamente difíciles de evaluar. Las limitaciones y errores son frecuentemente introducidos en reconstrucciones paleogeográficas y paleotectónicas por datos incompletos o incorrectos, dependiendo del clima y relieve del área de origen, transporte mecánico y procesos depositacionales y post-depositacionales. Los resultados pueden ser ampliamente influidos por la metodología particular adoptada en los análisis petrográficos. Para minimizar errores, es esencial que todos estos factores sean tomados en consideración, por lo que se pretende que este trabajo se considere como una guía metodológica para cada estudio de arenas en las diversas áreas de la Geología.

## CAPÍTULO 1 GENERALIDADES

### 1.1 ANTECEDENTES

La Sonda de Campeche se localiza en la porción occidental de la península de Yucatán frente a los estados de Campeche y Tabasco; esta provincia marina se considera interesante tanto por su historia geológica como por los descubrimientos de campos productores de aceite y gas.

Ciudad del Carmen está situada en aguas territoriales del Golfo de México, al norte de las costas de los estados de Veracruz, Tabasco y Campeche, bordeando la península de Yucatán desde la isobata de 500 metros hasta el límite de las aguas territoriales.

El área de estudio comprende la Laguna de Términos en Ciudad del Carmen Campeche, la cual que se localiza en el litoral del Golfo de México, entre los meridianos  $91^{\circ}15'$  y  $92^{\circ}00'$  de longitud oeste y los paralelos  $18^{\circ}25'$  y  $29^{\circ}00'$  de latitud norte con una longitud de 70 km y 28 km; está limitada al norte por la Isla del Carmen. Ver figura 1.1

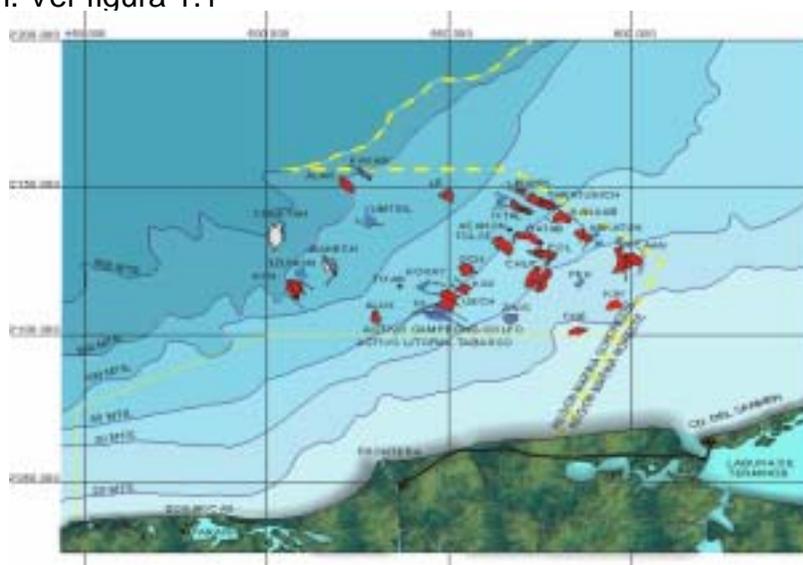


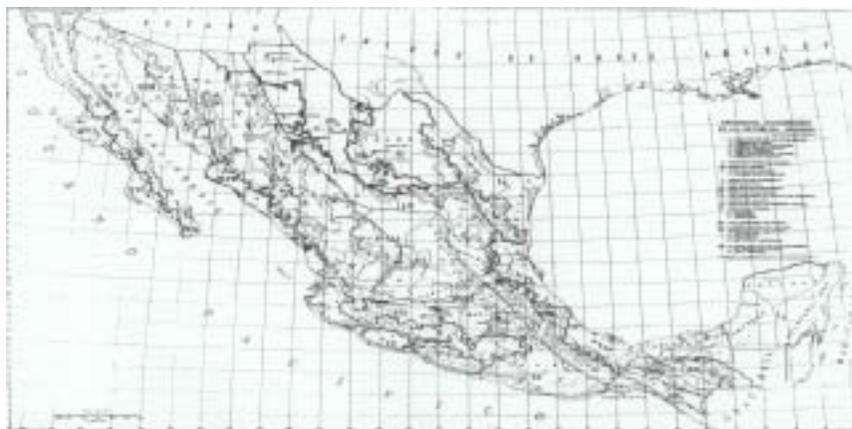
Fig. 1.1 Plano de localización del área de estudio (PEMEX, 2003)

En esta zona se han realizado una amplia gama de investigaciones de diversa índole que comprenden análisis de flora, fauna (tipo de organismos de la región), hidrografía, geología, climatología, contaminación, batimetría, salinidad, estudios geofísicos y pH entre otros, los cuales proporcionan información importante de la región.

Debido a que el área es de suma importancia para la industria petrolera, se han desarrollado en ella varios trabajos científicos que comprenden aspectos geológicos, geofísicos, petroleros, del subsuelo y de otras ciencias afines a la exploración, extracción y producción de hidrocarburos.

El marco tectónico de la provincia lo constituyen la Plataforma de Yucatán, la Cuenca de Comalcalco, la Cuenca de Macuspana y el cinturón plegado de Reforma-Akal. La Sonda de Campeche ha sufrido transformaciones a través del tiempo, mismas que han dado lugar al depósito de diferentes tipos de roca, tectónicamente se caracteriza por la presencia de fuertes plegamientos compresionales y también por importantes discordancias.

De acuerdo con el artículo de Álvarez (1961) "Provincias Fisiográficas de la República Mexicana", coloca a la zona de estudio dentro de la Llanura Costera del Golfo de México, en la zona pantanosa de Tabasco.



**Fig. 1.2 Provincias Fisiográficas de la República Mexicana (Álvarez,1961)**

En cuanto al análisis del aporte de sedimentos realizado en el estudio hidrológico hecho por Botello (1977) “Variación de los parámetros Hidrológicos en las épocas de sequía y lluvias (Mayo y Noviembre de 1974) en la Laguna de Términos, Campeche, México” se indica que existen tres grandes ríos que descargan sus aguas en la Laguna de Términos y éstos son: **El río Palizada** que forma parte de la red hidrológica de los ríos Mexcalapa, Grijalva y Usumacinta. **El río Chumpán** que se forma en la planicie costera por los **ríos San Joaquín** y el **río Candelaria**.

El estudio realizado por Gutierrez-Malpica-Martínez “Geomorfología y Sedimentos recientes del Sistema Lagunar Atasta-Pom” reporta que los sedimentos lagunares son predominantemente arena limosos, mal clasificados; con fracción arenosa de ortocuarcítica o subarcósica. Por otra parte se indica que existe un amplio complejo sedimentario constituido por deltas de ríos y caracterizado por varios sistemas de lagunas litorales, este sistema lagunar corresponde geográficamente con la provincia fisiográfica denominada *Llanura Costera del Golfo*.

Ayala y Gutiérrez (1990), en su trabajo “Morfología y sedimentos superficiales de la plataforma continental frente a Tabasco y Campeche, México” reportan que esta región presenta una provincia carbonatada y comentan acerca de las provincias geológicas que comprende el sureste del Golfo de México; reconocen tres provincias geológicas: Plataforma Mexicana, Bahía de Campeche y Banco de Campeche (Antoine 1972) como se observa en la Fig. 1.3

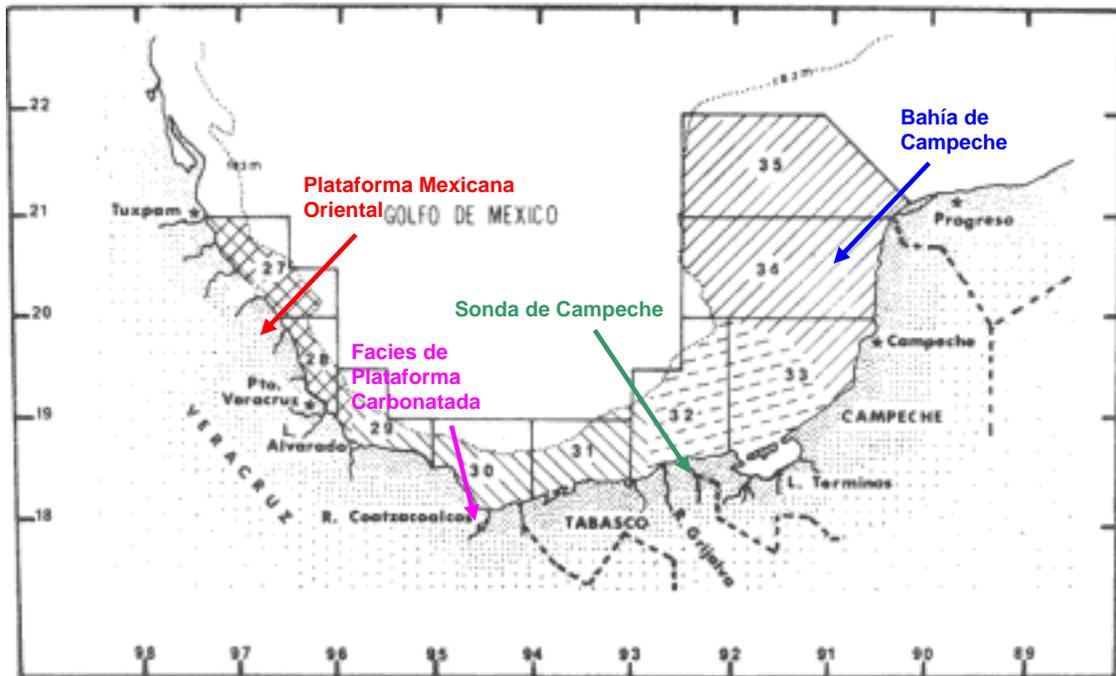


Fig. 1.3 Provincias geológicas. (Sánchez-Soto, 1986)

También se menciona que el origen del Golfo de México, según Butterlin (1972), es una cuenca intracratónica, formada por hundimiento cuya reducción y hundimiento están asociados con el crecimiento de las plataformas carbonatadas de Campeche y Florida durante el Cretácico.

Yáñez-Correa (1971), en su artículo "Procesos Costeros y Sedimentos Recientes de la Plataforma Continental al Sur de la Bahía de Campeche" mencionan que los procesos costeros y la particularidad de sedimentos son de especial interés en esta zona desde el punto de vista geológico por dos causas principales: a) la variedad de procesos de sedimentación, activos a lo largo de la costa; b) la transición existente entre los sedimentos carbonatados de la plataforma de Yucatán y los sedimentos deltaicos de los ríos Grijalva y Usumacinta.

Como se puede observar esta región ha sido motivo de diversos estudios que se han realizado los cuales implican diversos temas que proporcionan información muy importante, no sólo de carácter biológico por las especies que habitan en ella o geológico por el tipo de sedimento y/o características que determinan el origen del lugar; también indican un posible hallazgo de carácter económico, por ello se deben seguir realizando estudios de diferente índole debido a la importancia de dicha área de estudio.

## **1.2 OBJETIVO**

Conocer y practicar un método para determinar el comportamiento de las arenas de acuerdo a su composición mineralógica, propiedades físicas y abundancia de sus componentes.

## **1.3 MÉTODO DE TRABAJO**

Para realizar este estudio se llevó a cabo un análisis granulométrico, lo que implicaba una adecuada selección de mallas, en el análisis se tomaron en consideración ciertos parámetros como el tamaño; las mallas que se utilizaron durante el desarrollo de la prueba fueron las siguientes 8, 10, 20, 40, 60, 80, 100 y una base; éstas fueron las que se encontraron disponibles en el Laboratorio de Sedimentología de la Facultad de Ingeniería de la UNAM.

El peso total que presentó la muestra fue de 31.61 g; el siguiente paso fue tamizar la arena para tener un mejor control de ésta en cuanto a su distribución de tamaño. Se obtuvieron los datos que se presentan en la siguiente tabla:

<b>MALLA #</b>	<b>PESO DEL MATERIAL RETENIDO (g)</b>	<b>PORCENTAJE DE MATERIAL RETENIDO (%)</b>
8	0.64	1.96
10	0.17	0.52
20	0.30	0.92
40	8.54	26.22
60	11.46	35.19
80	7.13	21.89
100	2.50	7.67
base	0.87	2.67
<b>TOTAL</b>	<b>31.61 g</b>	<b>97.04%</b>

**Tabla 1.1 Resultados de análisis granulométrico**

Una vez separadas las arenas por tamaños, se llevó a cabo una inspección preliminar con los primeros cuatro aumentos del microscopio estereoscópico marca American Optical de 4 lentes: 10x, 15x, 20x, 30x y 40x; para la separación de minerales se utilizó el aumento 40x.



**Fig. 1.4 Microscopio estereoscópico**

La idea original era revisar y separar toda la muestra ya que se consideraba era poco el peso de ésta, pero conforme se trabajó con la arena se observó que era una tarea complicada; sobre todo con el manejo de muestras de grano muy fino, motivo por el cual se decidió cuartear la muestra de cada una de las mallas y reducirla a medio gramo para facilitar el análisis. Posteriormente; se colocaron las muestras cuarteadas en cajas de cartón, mismas que fueron marcadas previamente con el número de la malla para tenerlas separadas y disponibles para trabajar con cada una de ellas.

Así mismo; fue necesario, para la separación de minerales, emplear portaobjetos de 2 tipos, previamente preparados con goma de tragacanto (sustancia que permite que el material se adhiera al portaobjetos además de permitir la fácil remoción del material con solo agregar un poco de agua).

Uno de estos portaobjetos a los que se hace referencia tiene una cuadrícula numerada, la cual permite colocar el material separado en cada uno de los cuadros para tener un mejor control y disposición del material (mineral, fragmento de roca o fragmento de concha). El otro portaobjetos por su parte; tiene un círculo en la parte central la cual permite concentrar una mayor cantidad de material.

La separación se hizo en función de características mineralógicas para facilitar su estudio y determinar la composición de las arenas, por lo que el método utilizado para la clasificación, se basó en separar por colores a las diferentes fases minerales.

Se realizaron diversos métodos de laminación por lo que hubo una pérdida considerable de arena, pero finalmente se logró una buena calidad en las láminas para su estudio petrográfico.

Por el motivo antes mencionado se realizaron 11 láminas delgadas, de las cuales 3 de ellas contenían la arena separada en cada malla (60,80 y 100) y las 8 restantes contenía cada una de las diferentes fases minerales (glauconita, cuarzo rosa, calcita, fragmento de roca, feldespato, clorita, fragmento de roca alterada, pedernal).

Las láminas delgadas se observaron en el microscopio petrográfico y se determinó con mayor precisión de que componentes estaba constituida la arena.

Para hacer el análisis del comportamiento de las arenas se realizaron 3 diferentes eventos para determinar el porcentaje de cada fase mineral en las diferentes mallas (Ver anexo A), esto se llevó a cabo con un cuarteo de la muestra restante de cada tamaño hasta lograr una fracción mínima de las arenas, ya que se requería hacer un conteo de los granos, para obtener una relación entre el total de granos contados como el 100% y los granos de cada componente encontrados para así obtener el porcentaje de cada uno.

Con los resultados obtenidos se realizaron 3 tipos de gráficas, que son: histogramas, gráficas de distribución total y de sectores o circulares, con el fin de determinar la distribución del tamaño, y la abundancia o desaparición de cada fase con respecto al diámetro de cada malla.

Para ampliar la información de los datos que proporcionan las arenas se observaron las propiedades físicas de las partículas como son: tamaño, forma y redondez, utilizando el microscopio estereoscópico.

Para medir el tamaño se calculó la constante del microscopio para obtener la dimensión de cada grano y se requirió hacer el cambio del ocular convencional con que cuenta el microscopio estereoscópico por uno graduado adimensional (micrómetro ocular).

Cabe mencionar que para la medición del tamaño de los granos de las mallas 60, 80 y 100 se utilizaron las láminas delgadas correspondientes y se analizaron con la ayuda del analizador de imágenes, que es un Software llamado **Omnimet** el cual es distribuido por Buelher. Trabaja conjuntamente con un microscopio marca Nikon que cuenta con 4 objetivos (5x,10x,20x,40x), la particularidad de operación de este Software es detectar la intensidad de tonalidades grises que presenta cada fase, encontrándose en un intervalo que va de blanco-negro lo que implica una amplia gama de matices (aproximadamente 250) y por tanto detalla la imagen de cada mineral.

Esta herramienta proporciona valores precisos de las características medibles de los minerales, como son:

- |              |             |
|--------------|-------------|
| -Porcentaje  | - Espesor   |
| -Tamaño      | - Grosor    |
| -Esfericidad | - Densidad  |
| -Área        | - Angulo    |
| -Radio       | - Perímetro |



**Fig. 1.4 Analizador de Imágenes**

## CAPÍTULO 2. MARCO CONCEPTUAL

Este capítulo está enfocado a definir conceptos que permitirán determinar las características de las arenas. Cabe hacer mención que las definiciones fueron tomadas de diversa bibliografía relacionada con la petrología sedimentaria.

### 2.1 ATRIBUTOS TEXTURALES

Puesto que el sedimento y la roca sedimentaria son una asociación de fases minerales, es evidente que muchas de sus propiedades dependerán de las características de partículas aisladas, de propiedades correspondientes al nivel de asociación y de la interrelación entre los componentes (textura).

Algunas características de las partículas como tamaño, selección, forma y redondez también llamados atributos texturales, son de gran importancia en la interpretación de ambientes sedimentarios.

Se puede definir la textura como la organización elemental del sedimento a la escala de las partículas que lo constituyen; este concepto tiene un fuerte significado dinámico, puesto que sus elementos se modifican a lo largo de la evolución del sedimento.

Las características texturales de las rocas sedimentarias clásticas son las siguientes:

#### *CARACTERÍSTICAS*

#### *ES FUNCIÓN DE:*

Tamaño	La disgregación mecánica de la roca.
Selección	La competencia del agente de transporte.
Forma	La modificación mecánica de los granos individuales.
Redondez	La intensidad del transporte.

En la actualidad existe una gran variedad de métodos por los cuales se puede medir el tamaño de las partículas en los sedimentos. Dos de ellos son medir *el diámetro* y midiendo *el volumen* de la partícula.

El *diámetro* de una partícula se encuentra lejos de ser un factor fácil de medir, porque existe un número infinito de formas en las partículas y la diversidad del *tamaño* de grano en partículas sedimentarias es casi infinita, ya que éste varía de entre menos de un micrómetro a algunos metros de diámetro, mientras tanto la medida del *volumen* de un gran número de granos es difícil y requiere tiempo.

La *forma* y *redondez* de los sedimentos son términos comúnmente empleados para descifrar el ambiente de depósito, ambos dependen del medio y del tipo de transporte.

A lo largo del tiempo diversos autores se han dedicado a dar una explicación de los atributos texturales como son: tamaño, selección, forma y redondez, por lo que a continuación se citan algunas de estas definiciones.

### **2.1.1 TAMAÑO**

El tamaño de grano se define por el diámetro; éste se mide directamente, o indirectamente por tamizado a través de mallas, dando el diámetro más pequeño que atraviesa, o por el diámetro de una esfera que con igual densidad tenga la misma velocidad de sedimentación en un fluido determinado. Las técnicas de medida están condicionadas por la propia dimensión del grano: medida directa en los tamaños grandes, tamizado o microscopio en tamaños arena y microscopio electrónico en las partículas más pequeñas.

Las características de tamaño de las partículas se representan generalmente en forma gráfica mediante curvas de frecuencia o histogramas, que permiten visualizar la cantidad de granos en cada intervalo de tamaños. En las curvas de frecuencia el eje de tamaños se presenta a escala logarítmica, o se transforma a escala  $\Phi$ , definida como el logaritmo negativo de base 2 del tamaño de grano en milímetros ( $\Phi = -\log_2$  diámetro). Las curvas de frecuencia normal presentan formas acampanadas, con una o más modas máximo. Si la representación es acumulada, la curva de frecuencia toma forma de "S" si el eje de frecuencia es aritmético, o una línea recta si el eje de frecuencia se representa en escala probabilística, lo que permite una más clara y rápida interpretación de las características del tamaño.

- Éste se expresa en función de un diámetro, pero al no ser los granos esféricos hay que referirlo al modo de medida, una de las referencias lineales que se utilizan es el "*diámetro de malla*". (Corrales, 1977)
- El tamaño de grano es una medida de la energía media de sedimentación y de la energía de sedimentación de la cuenca. En general los sedimentos gruesos constituyen un ambiente de mayor energía y los sedimentos finos un ambiente de baja energía. (Reineck, 1980)
- El tamaño es una característica textural muy importante en rocas clásticas, ya que proporciona información acerca de las condiciones dinámicas (tipo de transporte y depósito). El método más común para medir el *tamaño* es el tamizado, por ser éste un método poco complicado. (Krumbein, 1963)

- Existen tres grandes clases de tamaños de granos que son clásicamente aceptadas en rocas clásticas:
  - Grava (mayor de 2 mm).
  - Arena (entre 2mm y 62 micrómetros).
  - Lodo (menor de 62 micrómetros).

Textura	Término Común	Término Griego	Latín
Gruesa	Grava	Psefita	Rudita
Media	Arena	Psammita	Arenita
Fina	Arcilla	Pelita	Lutita

**Tabla 2.1 Términos descriptivos del tamaño**

Las subdivisiones de estas tres clases se muestran en la siguiente tabla, junto con los nombres de rocas para cada clase de tamaños considerados. Cuando existe una fuerte distribución de tamaños de grano en la misma roca, se pueden combinar los nombres antes indicados; figura en primer lugar el que corresponde al tamaño de mayor frecuencia.

DIAMETRO		CLASE	ROCA	
mm	micras			
4096	—	GRAVA	PSEFITAS	
256	—			
64	—	Bloques	PSEFITAS	
4	—	Cantos		
2	—	ARENA	PSAMMITAS	
1	—			Arena muy gruesa
0.5	500			Arena gruesa
0.25	250			Arena media
0.125	125			Arena fina
0.062	62	Arena muy fina	LUTITAS	
0.031	31	Limo grueso		LIMOLITAS
0.016	16	Limo medio		
0.008	8	Limo fino		LUTITAS
0.004	4	Limo muy fino		
		Arcilla		

**Tabla 2.2 Clases Granulométricas (Castro, 1989)**

LIMITE DEL DIAMETRO LA PARTICULA			CLASIFICACION DEL TAMAÑO	
mm	unidades			
2048	-11	Muy grande	BLOQUE	GRAVA
1024	-10	Grande		
512	-9	Medio		
256	-8	Pequeño		
128	-7	Grande	GUIJONES	
64	-6	Pequeño	CANTO RODADO	
32	-5	Muy grueso		
16	-4	Grueso		
8	-3	Medio		
4	-2	Fino		
2	-1	Muy fino	GRÁNULOS	
1	0	Muy gruesa	ARENAS	LODO
1/2	+1	Gruesa		
1/4	+2	Media		
1/8	+3	Fina		
1/16	+4	Muy Fina		
1/32	+5	Muy Gruesa		
1/64	+6	Gruesa		
1/128	+7	Media		
1/256	+8	Fina		
1/512	+9	Muy fina		
			ARCILLA	

Tabla 2.3 Escala del tamaño de sedimentos de Wentworth

## 2.1.2. SELECCIÓN

La **selección** es la propiedad que describe la variabilidad del tamaño de grano en una roca sedimentaria clástica. Aquellas rocas que muestran sólo una clase granulométrica bien definida, en donde el tamaño de todas las partículas similar, se dice que están bien seleccionadas. Por oposición, aquellas en que sus constituyentes presentan una gran diversidad de tamaños se denominan mal seleccionadas. La selección de una roca es una propiedad que condiciona fuertemente su porosidad, y por lo tanto su comportamiento frente a la circulación de agua, subsuperficial o subterránea.

Una forma cuantitativa de obtener la selección de una roca es la siguiente:

$\frac{\text{Tamaño más grande}}{\text{Tamaño más pequeño}} < 10 = \text{Bien seleccionado}$

$\frac{\text{Tamaño más grande}}{\text{Tamaño más pequeño}} > 100 = \text{pobremente seleccionado.}$

Una forma cualitativa de obtener la selección es utilizando la siguiente figura:

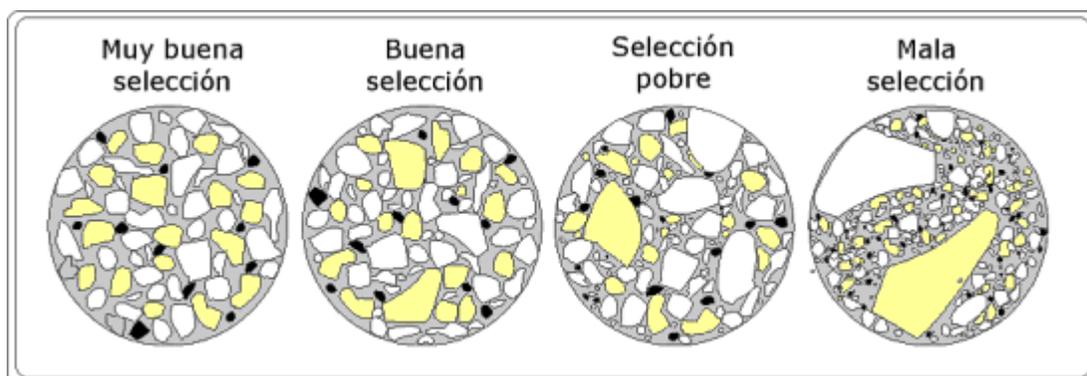


Fig. 2.1 Tipos de selección

### 2.1.3 FORMA

- La *forma* puede expresarse en términos cualitativos generalmente subjetivos y con terminología geométrica, donde existen parámetros que pueden ser medidos tales como la esfericidad, el aplanamiento y el alargamiento.

La esfericidad es un concepto introducido por Wadell (1932) en el cual relaciona la forma del grano con una esfera de igual volumen.

En consecuencia Wadell define la esfericidad con la siguiente expresión:

$$\Psi_w = \frac{\text{Diámetro del círculo de área equivalente}}{\text{Diámetro del círculo circunscrito más pequeño}}$$

Diámetro del círculo circunscrito más pequeño

(Corrales, 1977)

- La *forma* esta relacionada con conceptos geométricos, como redondez y angulosidad, mismos que son de gran importancia para definir la forma de los sedimentos, además de controlar particularmente su comportamiento durante el transporte y depósito reflejando así la distancia que recorren las partículas. (Krumbein, 1963)
- Las partículas sedimentarias muestran una gran variedad de formas geométricas, que dependen de su estructura interna, y proporcionan información del origen e historia de la partícula, algunas son simples y simétricas, pero otras tienen formas extremadamente complejas. (Davis, 1992)

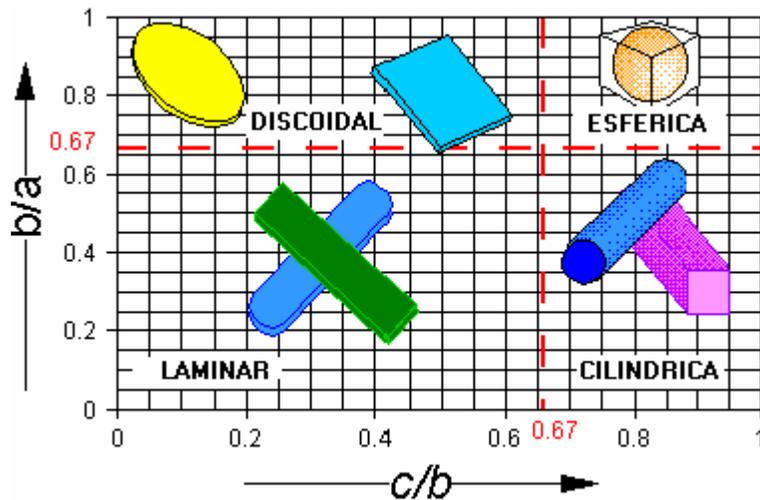


Fig. 2.2 Clasificación de tamaños de las partículas de Zingg

#### 2.1.4 REDONDEZ Y ESFERICIDAD

- Expresa la suavidad de los contornos y describe su grado de curvatura: oscila entre los términos de muy anguloso (con fuertes ángulos entrantes y ningún contorno suavizado) a muy redondeado (sin ningún tramo plano en su contorno convexo) y puede aplicarse a la siguiente fórmula:

$$\text{Redondez} = \frac{r}{\frac{A+B}{4}} \quad (\text{Corrales, 1974})$$

Donde  $r$  es el radio del círculo más pequeño inscrito y  $A+B/4$  es el radio medio del grano calculado a partir de los dos mayores diámetros perpendiculares.

- La redondez de las partículas está expresada en dos dimensiones.

$$\text{Redondez} = \frac{\text{Radio promedio de las esquinas y bordes}}{\text{Radio del círculo máximo circunscrito}}$$

Donde las esquinas y bordes son abruptos, se tiene en promedio un radio pequeño y la redondez es menor. (Krumbein, 1963)

- La redondez de las partículas se refiere a la uniformidad de los bordes y esquinas, la erosión física y las reacciones químicas contribuyen a estas características, en donde la erosión es la más importante. (Davis, 1992)

La forma y redondez de los sedimentos son usados para descifrar el intemperismo y transporte que sufrieron.

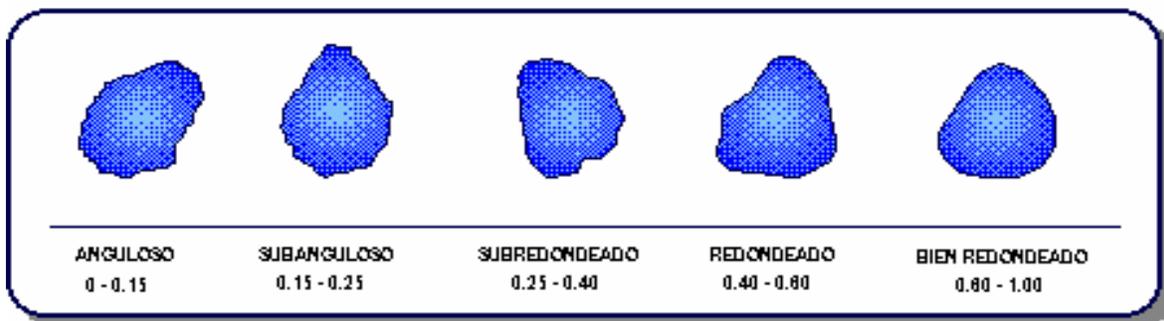


Fig. 2.3 Clases y Grados de redondez

- El término *esfericidad* se refiere al grado en el cual la partícula se asemeja a una esfera, ésta es fuertemente influida por el origen de la partícula así como por la redondez. (Davis, 1992)

- La *esfericidad* es la relación entre la longitud y la extensión de las imágenes, también puede expresarse como  $d_n / D_s$ , donde  $d_n$  es el diámetro nominal (diámetro de la esfera de un mismo volumen) y  $D_s$  es el diámetro de la esfera circundante.

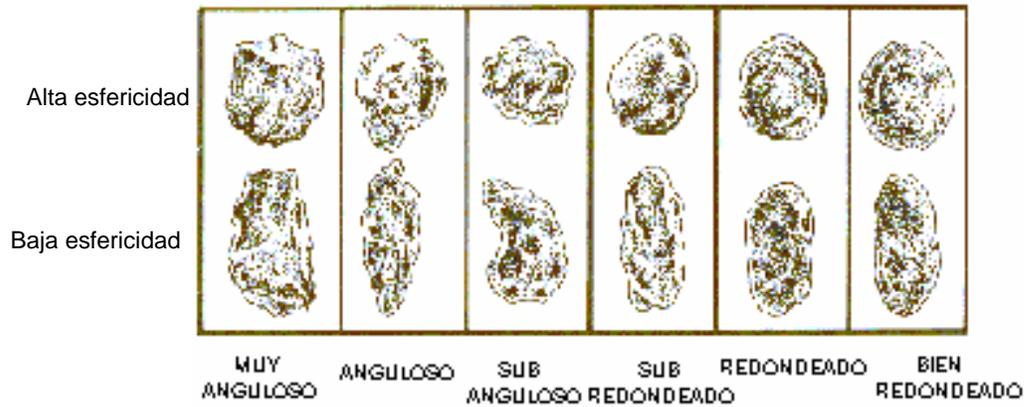


Fig. 2.4 Redondez y esfericidad de los sedimentos ( Raymond,1984)

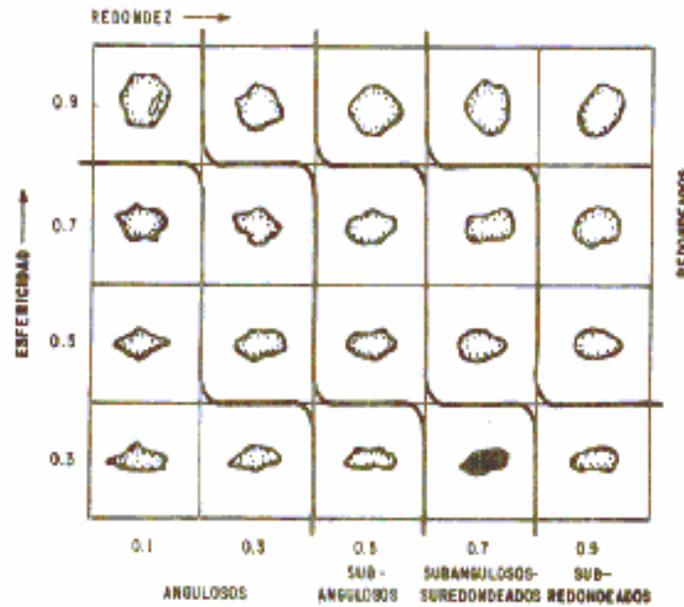


Fig. 2.5 Redondez y esfericidad de los sedimentos (Krumbein y Sloss, 1955)

### **2.1.5 MADUREZ**

Es el grado de diferenciación que alcanza un sedimento frente al material original del que procede, el sedimento de tamaño homogéneo y bien redondeado se define así.

La textura tiene un fuerte significado dinámico puesto que sus elementos se modifican a lo largo de la evolución del sedimento.

Las características texturales pueden llegar a ser criterios de identificación del ambiente sedimentario.

Ambientes como el marino poco profundo, el lagoon, llanuras de inundación o abanicos aluviales tienen sedimentos texturalmente poco maduros, mientras que los ambientes fluviales, dunas o playas originan sedimentos texturalmente maduros.

#### **2.1.5.1 MADUREZ TEXTURAL Y MINERALÓGICA**

Las características texturales (tamaño y forma del grano, entre otras) permiten determinar la madurez del sedimento original. Se entiende como madurez el grado de abrasión y/o transporte, que se refleja en una mayor esfericidad en los sedimentos conforme son acarreados a mayores distancias. Es importante tomar en consideración que el grado de madurez puede alterar la interpretación de la composición total de los sedimentos, ya que los fragmentos menos resistentes se desintegran antes del depósito o se transforman originando un incremento aparente en el porcentaje de los granos más resistentes.

La *madurez textural* se aplica en las arenas, ya que es donde se observa el grado de redondez el limo y la arcilla representan volúmenes muy pequeños e intervienen en el porcentaje, pero no se puede obtener el grado de redondez. Teóricamente un sedimento al ser transportado sufre abrasión y clasificación, por lo que en forma ideal y como punto final un sedimento estaría constituido por partículas del mismo tamaño perfectamente redondeadas. (Fig. 2.6)

Existen cuatro etapas texturales por las que pasa un sedimento (Fig. 2.7):

1. Estado Inmaduro: es donde el sedimento contiene más del 15% de limos y arcilla, generalmente los granos de arena son angulosos y mal clasificados.
2. Estado Submaduro: en esta etapa el sedimento contiene menos del 15% de arcillas y limos medios, donde los granos de arena son subangulosos y moderadamente clasificados (como en los Deltas).
3. Estado Maduro: en donde el contenido de limo y arcilla es pobre o inexistente y los granos de arena son subredondeados y bien clasificados (Playas de energía débil a media o Dunas Costeras).
4. Estado Supermaduro: es donde el sedimento no contiene lodos (finos), y los granos de arena son bien redondeados así como bien clasificados (En el desierto).

La Madurez Textural corresponde por si mismo a la Madurez Mineralógica.

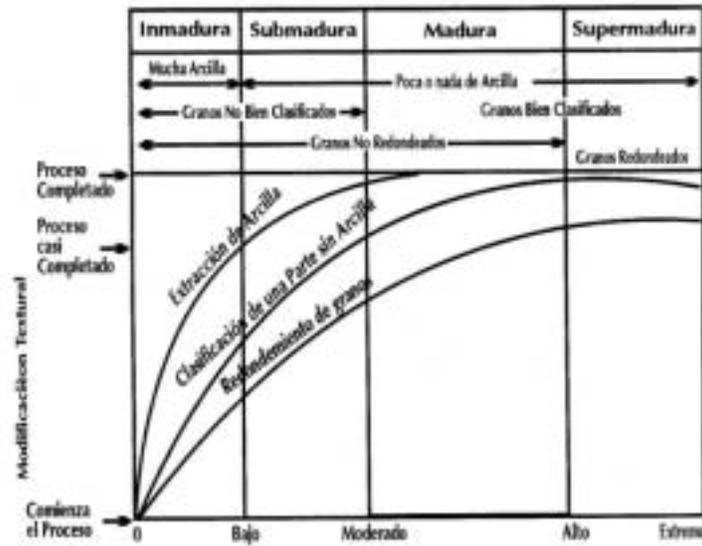


Figura 2.6 Madurez Textural (Folk, 1951)

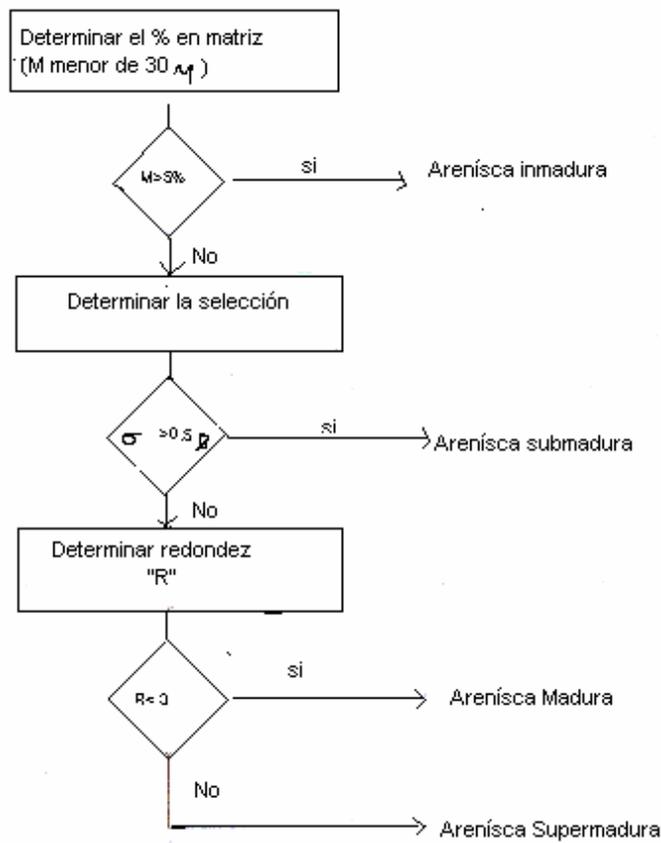
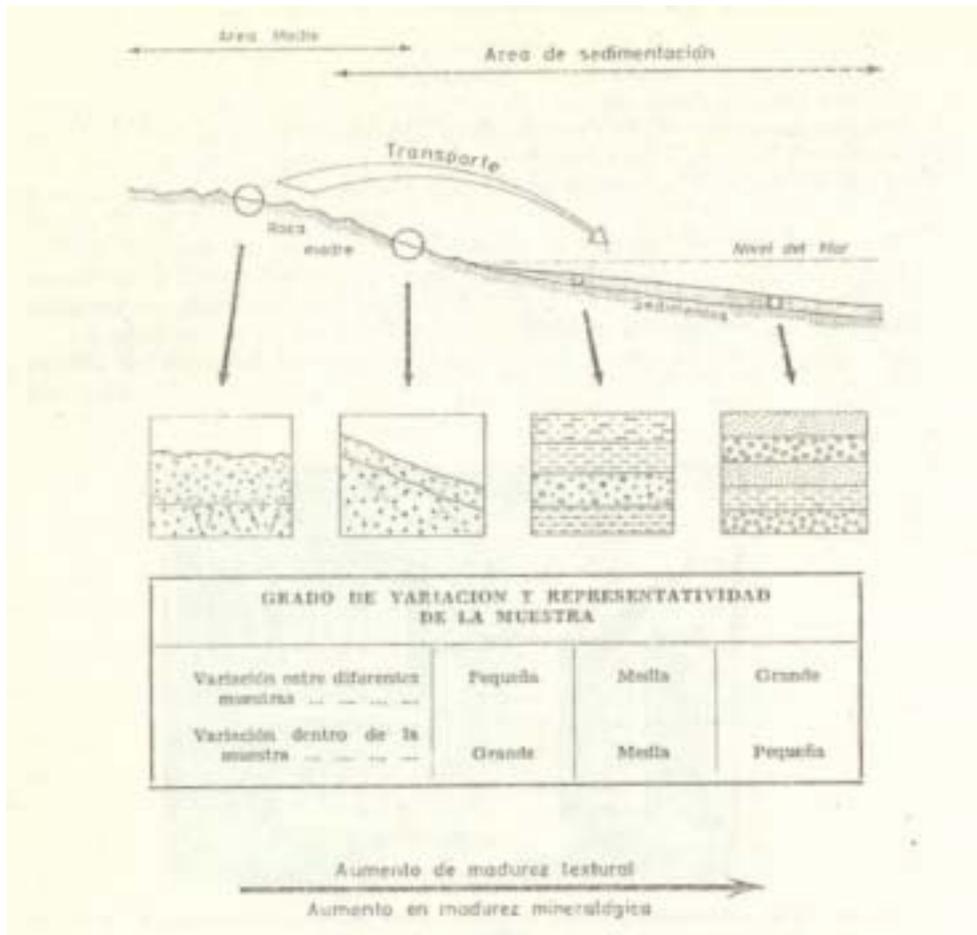


Fig. 2.7 Diagrama de flujo para determinar la Madurez Textural (Folk, 1951)

El ciclo de los procesos sedimentarios (Fig. 2.8), se reduce a un continuo traslado de masa hacia zonas de más bajo nivel energético, y algunos minerales pueden verse afectados durante el proceso, ya sea por no resistir el desequilibrio químico o por no resistir las acciones mecánicas.

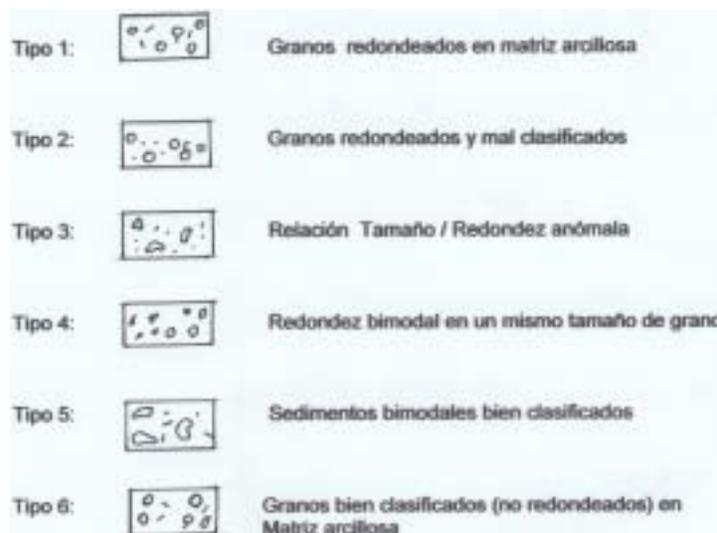


**Fig. 2.8 Procesos sedimentarios, evolución del sedimento e influencia sobre las muestras (Griffits, 1967)**

### 2.1.5.2 INVERSIÓN TEXTURAL

Es donde se tienen algunos sedimentos donde existen granos bien clasificados y bien redondeados con alto contenido de lodo y sedimentos compuestos por granos bien redondeados pero mal clasificados (Fig. 2.9), esta Madurez Textural Invertida es causada por:

- a) Más de un tipo de transporte.
- b) Mezcla de sedimentos de varios ambientes.
- c) Sedimentos provenientes de una arenisca preexistente.
- d) Acción de organismos (bioturbación).



**Fig. 2.9 Inversiones Texturales**

Tipo de Inversión

Causa probable

2,3,4,5

\* Origen múltiple, aportación de sedimentos retrabajados en el material primario

## 2.2 PETROGÉNESIS

Una roca sedimentaria es el producto final de un conjunto de procesos geológicos que se inician con el intemperismo y la erosión de algún material preexistente de la corteza terrestre; el cual puede pasar o no por una etapa de transporte y, en una cuenca llamada de depósito, finalmente ser transformada mediante compactación y cementación en una roca sedimentaria.

La *sedimentación* es el proceso por el cual se depositan las partículas y engloba no solamente la decantación física, sino también la precipitación química y orgánica. El reconocimiento de los procesos involucrados que originan las rocas sedimentarias, ayudan a reconstruir la historia geológica de la región de estudio.

Estos procesos necesitan una aportación de energía por el sistema; la principal fuente es la gravedad, que conjuntamente con la energía química motivan la reacción entre las rocas de la superficie y los componentes de la atmósfera e hidrósfera.

La composición de las rocas sedimentarias depende principalmente de cuatro factores: la fuente o procedencia del sedimento, el transporte, el ambiente del depósito y la diagénesis, de los cuales, el último factor en interpretar es la diagénesis, ya que representa el último proceso que afecta la composición y textura de la roca. La reconstrucción de la procedencia es el factor complejo de interpretar, debido al efecto de la sobreposición de los otros tres factores

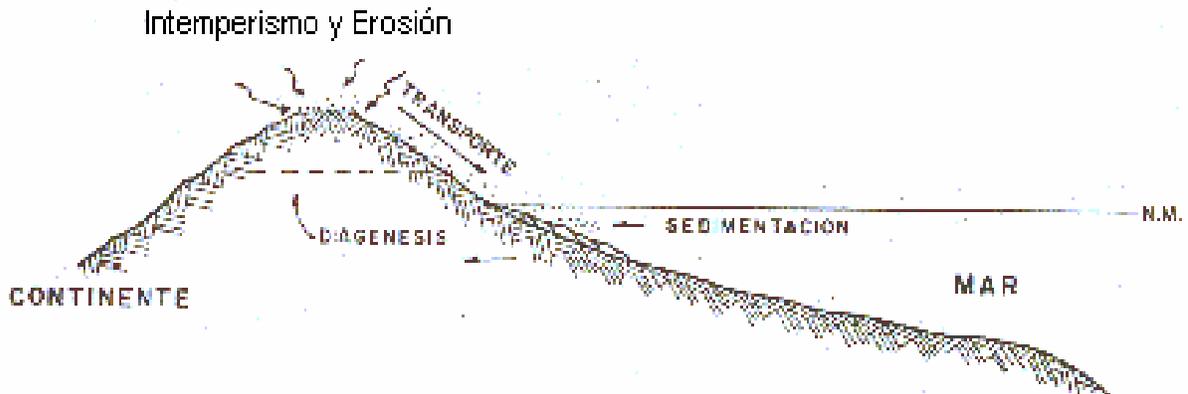


Fig. 2.10 Procesos sedimentarios

### 2.2.1 PROCEDENCIA

Este término proviene del verbo francés “venir de” y del latín *provenius* que significa “originario del lugar donde se produce”, y se refiere a todos los aspectos de las fuentes de la cual una roca sedimentaria es derivada.

El estudio detallado de la composición química y mineralógica de los sedimentos terrígenos y de sus rasgos texturales, así como el análisis estadístico de sus diversos componentes, se lleva a cabo actualmente a través de nuevas técnicas petrográficas y geoquímicas. Esto hace de la petrografía y la geoquímica las herramientas más importantes en el análisis de procedencia de sedimentos.

Particularmente las arenas y gravas, al originarse como partículas sólidas, pueden conservar la composición y textura de la roca de la que derivan y reflejan el carácter original de la fuente. Es importante porque permite reconstruir la naturaleza geológica y el ambiente tectónico de la región origen de los fragmentos de roca. Además, las características texturales, tales como el tamaño y forma de

los granos; la composición mineralógica y química de los sedimentos aportan información sobre el ciclo sedimentario, el clima, el tipo de ambiente de depósito y las características tectónicas de la cuenca donde ocurre el depósito. Si se considera que el análisis de procedencia de sedimentos es un método relativamente nuevo, y que ha demostrado ser muy útil para establecer modelos de evolución tectónica y paleogeográfica de cuencas cratónicas y terrenos tectonoestratigráficos, permite además proponer límites a los modelos propuestos con base en otro tipo de evidencias, por ejemplo paleomagnetismo o provincialismo faunístico.

Es de vital importancia entender la dinámica de los diferentes procesos que intervienen en la formación de los sedimentos, transporte y cuenca de depósito, así como conocer la procedencia de los mismos es importante, ya que a partir de estos procesos, es posible llevar a cabo la reconstrucción de ambientes sedimentarios, y de igual manera facilita una probable correlación, lo que aporta evidencias para el conocimiento de la evolución geológica de una región en particular.

La Petrología Sedimentaria se enfoca al estudio de la composición y textura de los sedimentos, ya que su depósito en estratos permite el registro de los diferentes sucesos que contribuyeron en su formación (Estratigrafía), asimismo la Petrografía es utilizada como una herramienta en la reconstrucción de procesos dinámicos; para su modelado se considera, el tipo de roca preexistente (sedimentarias, ígneas o metamórficas) y su grado de resistencia al intemperismo condicionan la relación de procesos químicos y mecánicos que la afectan, los cuales, junto con el transporte y las condiciones ambientales del área de aporte y de depósito, determinan la geometría, tamaño, distribución y composición de los sedimentos (Sedimentología).

Dentro de este contexto, la interrelación de los procesos mecánicos, biológicos y químicos durante el transporte y depósito del sedimento pueden ser determinados con criterios texturales y composicionales, lo que permite la identificación de ambientes sedimentarios y de los procesos de acarreo de partículas.

A partir del tipo de partículas se puede inferir la fuente o procedencia de los sedimentos, y con base en el análisis estadístico de numerosas cuencas, varios autores propusieron la idea de que existe una relación directa entre la composición del sedimento y el ambiente tectónico en que se forma.

Las arenas son los sedimentos clásticos más utilizados en estudios de procedencia, ya que se originan como partículas sólidas que se desprenden de la roca pero a la vez son lo suficientemente pequeñas como para observar una muestra considerable de granos en una sola lámina delgada. En cambio, para estudiar la composición de los fragmentos del tamaño de las gravas, se requiere de un mayor volumen de sedimentos colectado y un número mucho mayor de observaciones. La ventaja de las arenas es que conservan la composición y textura original cuando están formadas por fragmentos líticos, a pesar del transporte y de los procesos diagénéticos. Éstos se pueden encontrar casi inalterados, además de que pueden guardar información sobre la roca de la cual se derivaron.

El estudio petrográfico es fundamental para la determinación de la procedencia. El análisis cualitativo consiste en una observación cuidadosa y detallada de la textura y de la determinación de la composición de sus fragmentos tanto monominerales como poliminerales y, si se conocen los límites de la cuenca, la comparación petrográfica directa de las muestras de las rocas circundantes y los fragmentos líticos colectados en el área de depósito permite definir con precisión la procedencia de los sedimentos.

Un método petrográfico utilizado para determinar cuantitativamente la composición de los granos de arena, es el conteo de éstos en el microscopio (como lo realizado en este trabajo) para obtener un porcentaje del número de granos de cierta composición, así como la observación de sus propiedades físicas.

### Cómo y bajo qué condiciones se originó el sedimento

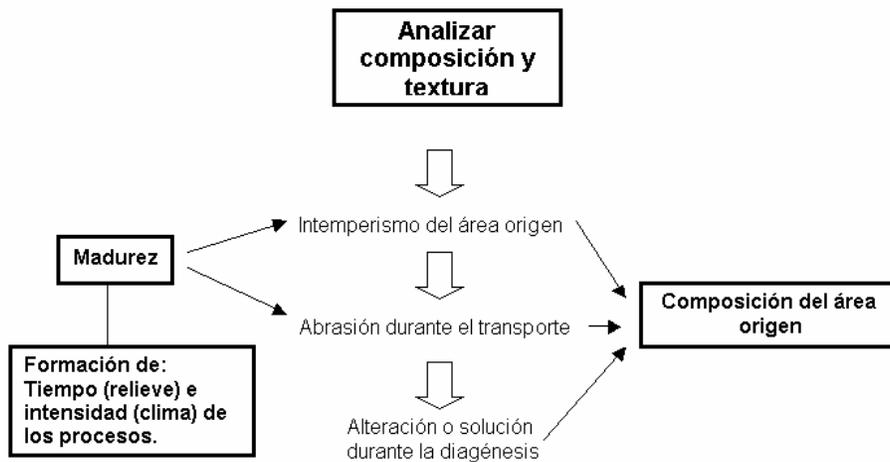


Fig. 2.11 Condiciones en que se genera un sedimento

### MÉTODO DE UN ESTUDIO DE PROCEDENCIA

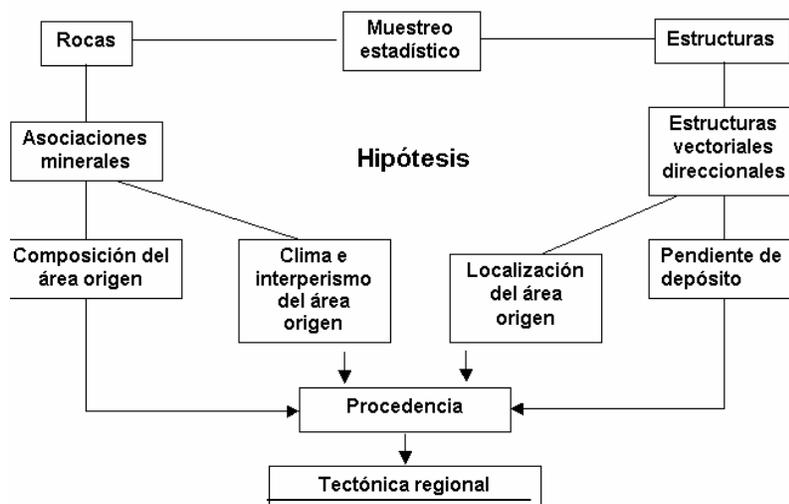


Fig. 2.12 Método de un estudio de procedencia

### 2.2.2 INTEMPERISMO

El *intemperismo* es la alteración de los materiales rocosos expuestos al aire, la humedad y los efectos de la materia orgánica.

Las áreas terrestres continuamente son reducidas y su forma es modificada por el intemperismo y la erosión.

El intemperismo deja sus huellas en el paisaje. Éste es un proceso tan común que existe la tendencia a pasarlo por alto sin tomar en cuenta sus resultados. El intemperismo desarrolla un papel importante en el ciclo de las rocas, pues mediante el ataque del material superficial de la corteza terrestre –tanto de la roca sólida como los depósitos sin consolidar-, producen la materia para la formación de nuevas rocas. Los productos del intemperismo son por lo común, acarreados por el agua y por la influencia de la gravedad y por el viento. A continuación caen para acumularse y asentarse en otro sitio. El lodo de un río crecido es en realidad material intemperizado, que está siendo transportando del terreno a alguna cuenca de asentamiento, por lo común el océano. Sin embargo, algunas veces los productos del intemperismo permanecen en el mismo sitio donde se formaron y se incorporan a las rocas del lugar.

Existen dos tipos de *intemperismo*: el mecánico y el químico. En la naturaleza es difícil separar estos dos tipos, porque ambos procesos actúan en forma coordinada y frecuentemente sus efectos se combinan en tal grado que no se les puede diferenciar.

### 2.2.2.1 INTEMPERISMO MECÁNICO

Este proceso es también llamado desintegración, es un proceso por el cual las rocas se rompen en fragmentos más y más pequeños, como resultado de la energía desarrollada por la fuerzas física como son:

Los cambios de temperatura, si son suficientemente rápidos y elevados, pueden provocar el intemperismo mecánico de la roca. En las áreas donde la roca está expuesta en la superficie y carece de la protección de suelo, los incendios pueden generar calor suficiente para romperla. El calentamiento rápido y violento de la zona exterior de la roca, provoca su expansión, y si este es bastante grande, se desprenden fragmentos más grandes de roca.

Existe la duda en cuanto a si las variaciones de temperatura del día a la noche, o del invierno al verano pueden causar el intemperismo mecánico. En teoría causan desintegración tales cambios de temperatura, es de suponerse que hasta la expansión y contracción mínimas de los minerales adyacentes, por períodos largos, pueden debilitar las uniones entre los granos minerales y que entonces provocará que la desintegración ocurra a lo largo de estos límites.

Los procesos comúnmente implicados en el intemperismo mecánico se enlistan a continuación:

- *DESCARGA MECÁNICA*: Expansión vertical debido a la carga vertical por la erosión, este fenómeno ocasionará que se abran las facturas existentes y se crean nuevas.

- *CARGA MECÁNICA*: impacto sobre la roca y abrasión en los desiertos arrastradas por el viento del tamaño de arena y limo el impacto sobre el suelo y las rocas débiles hechos por las gotas de lluvia durante las tormentas intensas.
- *CARGA TÉRMICA*: expansión por el congelamiento del agua en poros y fracturas en regiones frías o por el calentamiento de las rocas en regiones calientes, contracción por enfriamiento de las rocas y suelos en regiones frías.
- *HUMEDAD Y ARIDEZ*: expansión y contracción asociadas con la repetida absorción y pérdida de moléculas de agua de superficies y estructuras minerales.
- *CRISTALIZACIÓN*: expansión de poros y fisuras por la cristalización dentro de los minerales que estuvieron en estado de solución.
- *CARGA NEUMÁTICA*: es la carga repetida por oleadas de aire atrapado en las cabeceras de origen de las fracturas expuestas a la zona de oleaje de un acantilado marino.

#### **2.2.2.2 INTEMPERISMO QUÍMICO**

Éste es también llamado algunas veces descomposición, es un proceso más complejo que el mecánico. El intemperismo químico, en realidad, transforma el material original en algo diferente. El tamaño de las partículas es un factor extremadamente importante en el intemperismo químico, dado que las sustancias

pueden reaccionar químicamente sólo cuando se ponen en contacto unas con otras. Cuanto más grande es la superficie de una partícula, más vulnerable resulta al ataque químico.

La velocidad del intemperismo químico está afectada por factores como la composición del mineral original. El clima también desempeña su papel en este proceso. La humedad, particularmente cuando va acompañada de calor, acelera la velocidad de intemperismo químico; inversamente, la sequedad lo retarda.

Por ejemplo, el intemperismo químico del feldespato produce arcillas que tienen una composición distinta y características físicas diferentes de los feldespatos originales. Su ritmo de operación depende de la presencia del agua y su cantidad es mayor en los climas húmedos que en los secos.

El intemperismo químico afecta al cuarzo muy lentamente, razón por lo que se dice que es un mineral estable. Cuando una roca como el granito que contiene un alto porcentaje en cuarzo, se descompone deja tras de sí una gran cantidad de cuarzo inalterado. Los granos de cuarzo (llamados comúnmente granos de arena) que se encuentran en los restos intemperizados del granito son iguales a los que aparecen en el granito inalterado, cuando estos granos de cuarzo se separan de la roca madre, son angulosos; pero como el cuarzo continúa sujeto al intemperismo químico lento, los granos llegan a redondearse al pasar el tiempo. Tras muchos años de intemperismo, se les ve como si hubieran sido desgastados y erosionados a lo largo del lecho de un río o de una playa, y a pesar de todo, el cambio puede deberse únicamente la acción química.

Los procesos comúnmente implicados en el intemperismo químico se enlistan a continuación:

- **SOLUCIÓN:** disociación de minerales en iones que aumenta considerablemente por la presencia de  $\text{CO}_2$  en el perfil del suelo y el cual forma ácido carbónico ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ) con el agua de lluvia percolante.
- **OXIDACIÓN:** la combinación de oxígeno con mineral para formar óxidos e hidróxidos o cualquier otra reacción en la cual la oxidación aumenta el número de elementos oxidados.
- **REDUCCIÓN:** la liberación de oxígeno de un mineral que pasa a formar parte del ambiente circundante, deja la estructura del mineral a medida que la oxidación disminuye el número de elementos reducidos.
- **HIDRATACIÓN:** la absorción de moléculas de agua dentro de la estructura interna de un mineral. Éste fenómeno normalmente provoca una expansión que alcanza un 60% en las arcillas y la admisión de agua acelera los procesos de solución, oxidación, reducción e hidrólisis.
- **HIDRÓLISIS:** los iones en las aguas percolantes reemplazan a los cationes y no ocurre el fenómeno de oxidación reducción.
- **LIXIVIACIÓN:** la migración de los iones alentada por los procesos antes citados, donde la movilidad de los iones depende de su potencial iónico el Ca, Na, Mg y K son fácilmente lixiviados por las aguas circundantes, el Fe es el más resistente, el Si es difícil de lixiviar y el Al es casi inamovible.
- **CAMBIO DE CATIONES:** La absorción sobre la superficie de una arcilla cargada negativamente de cationes en solución, cargados positivamente especialmente Ca, H, K, Mg.

Algunas rocas se intemperizan con mucha rapidez, otras lo hacen lentamente. La velocidad de intemperismo está regida por el tipo de roca y una diversidad de factores adicionales, desde los minerales y la humedad, la temperatura y la topografía hasta la actividad de las plantas y animales.

El intemperismo que sufren algunos minerales se cita a continuación.

1. El cuarzo es sumamente resistente al intemperismo químico.
2. Los feldespatos sódico-cálcicos (plagioclasas) se intemperizan más rápidamente que el feldespato potásico (ortoclasa).
3. La plagioclasa cálcica (anortita) tiende a intemperizarse más rápidamente que la plagioclasa sódica (albita).
4. El olivino es menos resistente que la augita, y en muchos casos ésta parece intemperizar más rápidamente que la hornblenda.
5. La biotita se intemperiza más lentamente que los otros minerales oscuros mientras que la moscovita es más resistente que la biotita.

### **2.2.3 TRANSPORTE**

- Es la eliminación y transferencia de los materiales por la tracción, saltación, suspensión y solución, que terminan con la llegada de un sedimento a una región en la que se realiza la “sedimentación”. (Corrales, 1976)

El transporte del sedimento es el resultado de la interacción dinámica entre las partículas y un fluido, de forma que el sistema se puede descomponer en una fase sólida (partículas) y otra en solución que provoca el transporte, generalmente el campo gravitatorio.

La mayor parte de los sedimentos presentan evidencias de haber sido depositados en el seno de una corriente, que según sus características provocan modificaciones en la textura, la formación de estructuras internas, de superficie y geometría de los estratos, que permiten conocer la dirección y sentido de la corriente, o también señalan superficies erosivas que indican como han sido removilizados materiales depositados anteriormente. Estas evidencias hacen difícil separar los conceptos de erosión, transporte y sedimentación, que se limitan a variaciones en la posición de masa en tiempo y espacio; las medidas se refieren a relaciones de intensidad. El transporte de sedimentos se puede plantear bajo diferentes puntos de vista: cambio de posición de la masa de sedimentos, estructuras internas del depósito –que indican las condiciones dinámicas en el límite del arrastre-, el comportamiento y trayectoria seguida por las partículas aisladas, o en función de las condiciones del ambiente de sedimentación, o de las propiedades del fluido.

El resultado final del transporte, es un estado de menor nivel energético, que el original, con energía cinética nula y una gran reducción de energía potencial, que depende de la diferencia en elevación y la masa transportada, que esta diferencia de energía es utilizada en forma de trabajo de transporte.

La corriente de fluido está a su vez controlada por dos variables: número de Reynolds y número de Froude. El número de Reynolds mide el grado de turbulencia, como relación entre el esfuerzo de inercia frente al esfuerzo viscoso, y separa dos modalidades de movimiento del fluido, la corriente laminar con permanencia en la magnitud y dirección de la velocidad, y la corriente turbulenta con fuertes variaciones –que indican el grado de turbulencia- en la magnitud y dirección de la velocidad. El número de Froude es la relación entre la fuerza de inercia y la aceleración de la gravedad, se puede presentar como la fuerza necesaria para frenar a una partícula en movimiento respecto a la gravedad, y ----

separa dos grandes campos en las características de la corriente, régimen de corriente alto, o supercrítico, con número de Froude menor de 1.

La intensidad del transporte depende mucho del régimen de flujo, es mayor en regímenes turbulentos y rápidos que en laminares y tranquilos. Los mecanismos de transporte suelen variar según las características de cada medio sedimentario. Una clasificación elemental basada en el medio físico en el que se realiza el transporte, es la siguiente:

**a) Transporte por corrientes de agua.** Las partículas se mueven como carga de fondo, en saltación o suspensión, ya sea gradada u homogénea. El transporte de fondo a bajas velocidades hace rodar o deslizar las partículas. Con velocidades altas se presenta un transporte discontinuo con movimiento rítmico el cual forma superficies de rizaduras, este tipo de transporte es característico del medio fluvial y en general del medio subacuático sometido a corrientes.

1. Solución: este tipo de transporte se lleva a cabo con la ayuda de un fluido y el cual básicamente transporta sales.
2. Suspensión: en este es sedimento fino se transporta desde el tamaño de limo y arcilla hasta arena muy fina.
3. Saltación: el tamaño va de arena fina a gruesa.
4. Arrastre: el tamaño va de arena gruesa a grava.

**b) Transporte en acumulaciones de agua.** Este tipo de transporte es característico de lagos y mares en que pueden aparecer corrientes por diferentes causas que según su dirección y situación, tienden a separar las corrientes en: subhorizontales, corrientes de convección y corrientes de

marea y oleaje. Actúa con velocidades menores. Las olas pueden generar turbulencias que remobilizan el sedimento y mantienen a las partículas finas en suspensión, por lo que tienen gran importancia en la dispersión del sedimento a grandes distancias.

### ***c) Transporte por Mar***

1. Por Mareas: Se efectúa en partes cercanas a la costa o en la zona de influencia marina sobre aguas continentales, en este tipo existe poco transporte.
2. Corrientes Litorales: Son corrientes que se generan por cambios de presión en la atmósfera y por vientos de 20m a 5 km de la costa, transporta sedimentos finos (limo-arcilla) y arena (fina-media).
3. Corrientes Oceánicas: Son la que circulan a través del océano y llegan perpendicularmente a las costas con oleaje, formando corrientes (corriente del Golfo de México) transporta sedimento fino.

***d) Transporte por corrientes de aire.*** Es físicamente idéntico al transporte de corriente de agua, con la salvedad de presentar menor eficiencia de transporte debido a la diferencia de densidades que existe entre el aire y las partículas del sedimento. Este tipo de transporte es característico de los medios eólicos.

1. Suspensión: se efectúa por las partículas finas (limos y arcillas) viajan a miles de kilómetros y no caen en reposo mientras la velocidad del viento actúe promueve una buena selección.
2. Saltación: este transporte de partículas se da en agua o viento, donde brincan o saltan en el lecho del río o en la superficie del suelo.
3. por arrastre

**e) Transporte por hielo.** Es un caso de flujo plástico en fase sólida, muy viscoso, lento y con ausencia de turbulencia, característico del medio glaciar.

**f) Transporte en masas y corrientes de densidad.** Corresponde a condiciones de fluidos densos y viscosos con cantidad variable de carga.

#### 2.2.4 DEPÓSITO

La suma de los factores físicos, químicos y biológicos que actúan sobre un organismo, comunidad u objeto de una región dada y que van a influir sobre su desarrollo o existencia, forman el “medio ambiente”.

Los depósitos sedimentarios de una región lógicamente presentarán características determinadas por el ambiente en el que se han formado pero también, pueden presentar algunos aspectos de la fuente de aporte de los sedimentos, así como de los factores que han intervenido en su desarrollo hasta el momento de su transformación a roca; de hecho los factores o procesos que intervienen en la formación de una roca sedimentaria son de un dominio muy amplio e incluyen factores del área de suministro, de la del depósito, así como de la del transporte; por ello a esos factores se les engloba en lo que se conoce como “medio geográfico”.

Desde el punto de vista geológico, medio o ambiente de depósito, significa un ambiente geográfico, debido a sus características morfológicas; por ejemplo, una zona de lagos o una de desiertos, etc., en la cual se efectúa el depósito de los sedimentos y en ella las condiciones externas que afectan el desarrollo de los sedimentos son lo suficientemente constantes como para formar un depósito característico.

La *deposición* sucede cuando por alguna razón los diferentes agentes del transporte pierden energía, entonces se sedimentará su carga por acción directa de la gravedad, dicha carga estará constituida por todo el material que acarrear tales agentes. Por lo general, el depósito se hace en forma clasificada (excepto en los glaciares), adoptan una forma laminar, donde se sedimentan primero los materiales gruesos y pesados y por último, los de menor peso. A este tipo de sedimentación se le llama sedimentación mecánica.

Por otra parte, cuando la carga se encuentra en solución puede ser depositada bajo condiciones especiales, como sería el caso de cambios en la temperatura, aumento de concentración en las sales disueltas por efecto de la evaporación; asimismo, por la acción vital de algunos organismos (corales). A este tipo de depósito se le llama sedimentación química

La gran dependencia que tienen los ambientes sedimentarios de las características geográficas y morfológicas de la superficie terrestre, ha sido la causa de las primeras divisiones de los ambientes sedimentarios en continentales y marinos, de los que más tarde se separan, por sus características parcialmente mixtas y por el gran volumen de sedimentos que acumulan, los ambientes de transición o mixtos.

La posibilidad de separar en cada ambiente sedimentario las zonas de procedencia de los materiales; el lugar de máxima disponibilidad anterior, que puede ser distinto al área madre; los canales, redes y mecanismo de distribución de los sedimentos en función de los niveles de energía utilizados en los procesos de transporte y las zonas de valores mínimos de energía en que se realiza la acumulación de sedimentos y se forman la mayor parte de las facies sedimentarias, ha permitido ver una interrelación entre diferentes ambientes

sedimentarios, que se transfieren parte de la masa unos a otros; forman una asociación de mayor rango a lo que se ha llamado *sistema depositacional*. Un sistema depositacional estará formado por varios ambientes sedimentarios interrelacionados a través de los cuales pasan los sedimentos y donde la intensidad de acumulación en cada uno de ellos depende del balance entre disponibilidad de sedimento y capacidad de transporte.

La observación de los procesos de sedimentación actual ha permitido conocer que generalmente la sedimentación no es un proceso continuo y homogéneo en el tiempo, sino que está relacionada con momentos de mayor disponibilidad y utilización de energía y mayor eficacia del sistema de transporte, por lo que se asocia a momentos de la evolución de un ambiente sedimentario .

#### **2.2.4.1 Ambientes sedimentarios continentales**

El ambiente glacial desempeña un importante papel en la preparación de sedimentos. Las principales acumulaciones de sedimentos se dispersan por mecanismos fluviales y lacustres estacionales en el frente de las masas de hielo con movimiento lento.

Los ambientes eólico y desértico son característicos de regiones áridas, por lo que el mecanismo de transporte es el viento. Aunque en la actualidad los desiertos presentan grandes dimensiones su potencial de conservación en la columna estratigráfica es escaso, pero en cambio son frecuentes los depósitos eólicos asociados a la línea de costa con acumulaciones de sedimentos. Los depósitos de acumulación del viento presentan una morfología característica: las dunas.

El ambiente de abanico aluvial se sitúa al pie de relieves montañosos en casi todo tipo de climas, pero alcanza su mayor desarrollo en condiciones áridas o

semiáridas. Los depósitos consisten en alternancias de lodos que contienen partículas gruesas muy mal clasificadas, con materiales de tracción por corrientes de agua mejor clasificados.

El ambiente fluvial es característico de regiones con precipitaciones apreciables y de cierta constancia, y según el relieve (pendiente), caudal de agua y carga de sedimentos, se distinguen dos tipos: los ambientes trezados, y los meandriformes, bien diferenciados por la geometría, las estructuras sedimentarias y las secuencias. En los canales trezados predominan los sedimentos gruesos, mientras que los canales sinuosos o meandriformes se desarrollan preferentemente con cargas de sedimentos más finos.

El ambiente lacustre presenta una gran variabilidad según la dimensión, situación climática, superficie drenada, profundidad, etc., y se pueden acumular desde sedimentos terrígenos relacionados con un importante transporte fluvial, incluso con desarrollo de deltas marginales, a sedimentos muy salinos, con evaporitas, en climas áridos y de escasa aportación fluvial.

#### **2.2.4.2 Ambientes sedimentarios de transición**

Son ambientes situados en la zona límite continente-mar; los sedimentos se acumulan tanto por aportación continental como marina. La fuerte intensidad de sedimentación da lugar a cambios continuos en la morfología y delimitación de la línea de costa.

El ambiente deltaico se localiza en las desembocaduras fluviales, donde se descarga la mayor parte del sedimento transportado, lo que provoca un avance de las zonas que se rellenan con sedimentos sobre el mar. La formación de deltas y sus características morfológicas dependen de la cantidad de sedimentos

aportados por el río, del grado de dispersión en la desembocadura y de los mecanismos marinos de eliminación y redistribución del sedimento.

El ambiente de litoral se localiza en la costa que se extiende desde la región de alta marea hasta la de baja marea y las condiciones de depósito no son siempre análogas. Algunas zonas costeras son plataformas rocosas, otras son riscos casi verticales; y todavía otras están formadas por gravas, arenas, barros, conchas y fragmentos de conchas. Estos sedimentos se entrelazan a lo largo de la costa y hacia el mar, con graduación imperceptible hacia los depósitos marinos lejanos. Los sedimentos de la zona litoral se derivan principalmente de la costa, por la acción de las olas.

El ambiente palustre presenta lagunas marginales y el agua que contiene varía desde agua potable hasta agua con una salinidad mayor que la del mar adyacente. Como en las zonas costeras, los sedimentos que se depositan en lagunas tienen una gran variedad. Los derivados de tierras son llevados por las corrientes y por el viento; los marinos, por corrientes oceánicas; y los precipitados orgánicos y químicos provienen de las sales en solución.

#### **2.2.4.3 Ambientes sedimentarios marinos**

Corresponden a ambientes en que la energía de transporte es función de la dinámica marina, y donde los sedimentos llegan generalmente a través de los ambientes de transición, ya sea por removilización y erosión, o porque los sedimentos los atraviesan sometidos a la influencia de su mecanismo de transporte.

*Depósitos poco profundos (Neríticos)*, es aquella porción de la cuenca oceánica que se extiende desde el nivel de las mareas bajas hasta una profundidad media

de 120 metros. Comprende la mayor parte de la plataforma continental y mares epicontinentales. La extensión, distribución y profundidad de este mar ha cambiado mucho en el tiempo geológico con la naturaleza y extensión de los movimientos diastróficos. Donde sube el nivel del mar, las partes más profundas del mar se agregan a taludes intermedios y las tierras bajas, a lo largo de la costa, se sumergen, de modo que la antigua zona litoral se agrega a la del mar. Durante el pasado geológico cuando amplias zonas fueron reducidas por erosión a llanos bajos y ondulantes, una subida del nivel extendió el mar hacia el interior de la tierra y agregó muchos miles de km cuadrados a las zonas en que los depósitos de esta agua se acumularon.

*Depósitos intermedios (batial)*, fuera del contorno continental, la profundidad del océano aumenta rápidamente hacia el fondo, localizada a una profundidad media de 4 km debajo de la superficie. Este descenso, llamado talud continental, es el margen exterior de la masa continental. Como empieza a una distancia de unos 65 km de la costa, está generalmente cubierto por sedimentos finos de origen terrestre, que permanecen en suspensión durante un largo período.

*Depósitos marinos profundos (abisal)*, Cuando la distancia a tierra aumenta, los materiales terrestres tienen cada vez menos importancia. En profundidades abisales muchos sedimentos son de origen volcánico, pelágico, glacial o meteórico. La temperatura es de aproximadamente 2°C y como las corrientes y olas de tipo costero no existen, no hay movimiento apreciable de agua. Los sedimentos depositados en este ambiente comprenden las sales disueltas y los productos clásticos de tal naturaleza que puedan separarse de la suspensión y asentarse junto con los productos silíceos y calcáreos.

### 2.2.5 DIAGÉNESIS

Se engloban en la diagénesis todos los cambios que tienen en los sedimentos después de la sedimentación y que afectan tanto a las partículas minerales como al agua intersticial. Estos cambios son debidos a procesos físico-químicos, bioquímicos, etc., y tienden a la litificación a temperaturas y presiones bajas, Dentro de éstos pueden distinguirse los que son puramente físicos ( de reducción de volumen o compactación) de los que tienen más carácter físico-químico y que afectan a la composición mineralógica del sedimento.

Por todo esto, se abordará el estudio de la diagénesis de las rocas clásticas de forma global; se analizará este grupo de rocas como un conjunto sobre el que pueden actuar diferentes procesos postdeposicionales, tales como compactación, cementación, disolución, recristalización o reemplazamiento, los cuales se van a describir brevemente.

**a) Compactación:** Sus efectos más importantes son: la pérdida de volumen de la porosidad primaria, la creación de contactos suturados y estilolitos que facilitan la disolución por presión, la orientación paralela de los minerales de arcilla y la expulsión de agua de éstas. Junto con la cementación jugará un papel preponderante en la litificación de las rocas clásticas; la temprana aparición de uno de ellos o la intensidad con que se produzcan puede mitigar los efectos respectivos de ambos procesos.

**b) Cementación:** Consiste en el crecimiento de especies minerales en la porosidad del sedimento a partir de fluidos que circulan por los intersticios de la roca a favor de los gradientes de presión. En la actualidad se han reconocido más

de 20 composiciones cementantes, los minerales más frecuentes en la naturaleza son carbonatos, los de sílice y los filosilicatos (arcillas autigénicas). La precipitación de sustancias minerales y el crecimiento de cristales en los huecos o intersticios del sedimento depende directamente de si el poro inicialmente está ocupado por una sola fase de fluidos (agua) o por dos fases (aire y agua). Si el sistema depositacional de un determinado ambiente sedimentario se encuentra inmerso en una zona por debajo del nivel freático (zona de saturación), tanto continental como marina, entonces su porosidad inicial estará ocupada por una sola fase de fluido, en este caso, agua dulce o agua marina o mezcla de ambas. Si por el contrario, el sedimento una vez depositado se encuentra por encima del nivel freático (zona vadosa), entonces su porosidad inicial estará ocupada por fluidos en dos fases (aire y agua dulce o marina). Este hecho marcará la mineralogía y textura de los primeros cementos y el estudio de ella permitirá discernir el ambiente diagenético temprano en el que se comenzaron a litificar las rocas.

**c) Disolución:** Este proceso es el principal causante de la creación de la porosidad secundaria de las rocas sedimentarias y se refiere tanto al lavado de los diferentes granos del esqueleto o de la matriz como a la disolución de los cementos primarios. Generalmente, las mineralogías más afectadas por este proceso diagenético son las carbonáticas y feldespáticas.

**d) Recristalización:** Comprende básicamente las distintas transformaciones que se producen entre un mineral y el mismo o un polimorfo que provocará la aparición de nuevos cristales de la misma composición pero de distinto tamaño y/o forma. Las transformaciones diagenéticas más frecuentes que se han observado en las rocas clásticas son las de aragonito a calcita y la de los minerales de la arcilla. Este último proceso de neoformación se produce a medida que las arcillas

adquieren adquiriendo mayor profundidad, por lo que la cristalinidad, en concreto de la illita se utiliza como método para saber la profundidad de enterramiento que sufren los materiales de una cuenca sedimentaria.

**e) Reemplazamiento:** Este proceso representa un cambio de mineralogía entre el nuevo material resultante y el reemplazado; pueden conservarse las texturas depositacionales y las microestructuras de los granos o cementos transformados. Los procesos de reemplazamiento más frecuentes en la diagénesis de las rocas clásticas son, por un lado, los que afectan a mineralogías carbonáticas como la dolomitización y por otro lado, los que implican a composiciones no carbonáticas como silicificación, glauconitización, ferruginización y fosfatización

En definitiva, la evolución diagenética que haya sufrido un sedimento marcará la diferente actuación de estos cinco procesos, que dejarán como producto una serie de texturas diagenéticas y unas mineralogías cementantes. El estudio de las mismas permitirá la determinación de la secuencia de cementación de los materiales y ésta ayudara a esclarecer en gran medida la historia evolutiva postdeposicional, es decir, desde la sedimentación hasta su retorno a la superficie. Cada ambiente depositacional ejercerá una fuerte influencia sobre las diferentes mineralogías cementantes, como mínimo en lo que respecta a sus estadios más tempranos, y por tanto, existirá una estrecha relación entre las facies sedimentarias y la secuencia de cementos autigénicos. En este sentido, se han pronunciado diferentes autores como Fuchtbauer (1974), De la Peña et al. (1983) o Hurst & Irwin (1982), que elaboraron una serie de secuencias generales de cementación que correspondían a cada uno de los ambientes depositacionales comprendidos entre el marino profundo y el continental fluvial. Evidentemente, estas secuencias de cementación pueden evolucionar con el enterramiento de

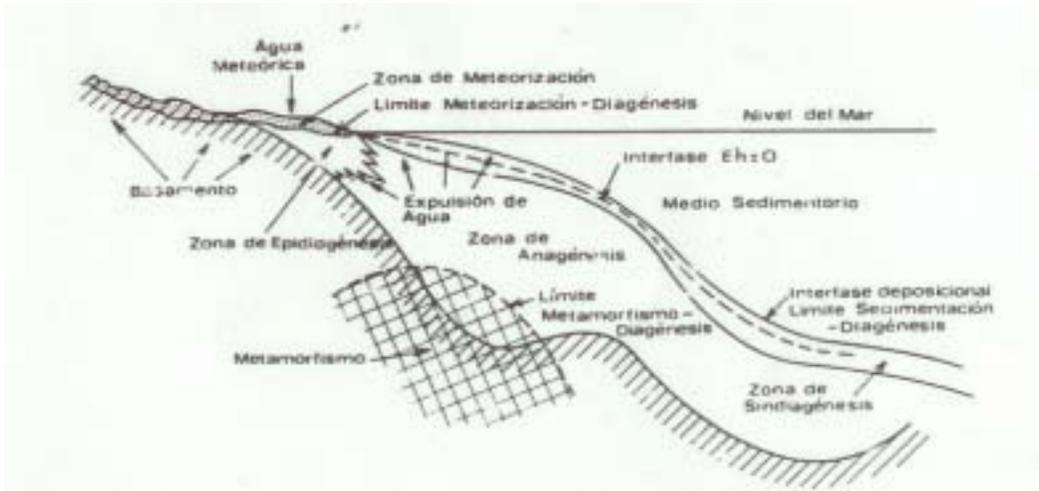
manera diferente según las condiciones de diagénesis profunda (subsistencia, esfuerzos tectónicos) a que se vean sometidas las cuencas en que se formaron

La diagénesis se puede dividir en tres etapas: la sindiagénesis, muy relacionada con la sedimentación; la anadiagénesis, de madurez y compactación, y la epidiagénesis o etapa preerosiva, que se realiza en sentido contrario por pérdida de carga de sedimentos.

Las principales fases diferenciadas en los procesos diagénéticos son las siguientes (Fig. 2.11): En la sindiagénesis el sedimento recién depositado está sometido a condiciones oxidantes o neutras, pero al ser recubierto por sedimentos posteriores, no hay regeneración del oxígeno consumido generalmente en procesos bioquímicos, y pasa a condiciones reductoras. En estas condiciones se realiza la formación de minerales; se puede distinguir la formación oxidante de la reductora, caracterizada esta última por la transformación del Ion sulfato en sulfuro.

Más abajo, el agua intersticial ya comprimida y saturada se reparte por el sedimento, al comenzar la anadiagénesis hasta encontrar condiciones de cementación, momento en que se fijan como fase sólida las sustancias disueltas. Prácticamente no existe actividad orgánica, y la neoformación está controlada por reacciones entre los minerales preexistentes y el agua intersticial, junto con la aparición del cemento. Es la zona en que se originan las concreciones. Al aumentar la profundidad hay expulsión del agua intersticial, con deshidratación de minerales. Recristalización, deformación de granos minerales, disolución por presión, etc., que llevan el sedimento a una consolidación completa. La zonación geográfica de la diagénesis enlaza la sedimentación con el metamorfismo (sindiagénesis y anadiagénesis) y la denudación (epidiagénesis)

Como la composición y tamaño de partículas iniciales del sedimento influyen mucho en el sistema químico y mecánico de la diagénesis no es posible una generalización del proceso.



**Fig. 2.11 Límites y zonas de la diagénesis (Basado en Fairbridge,1967 y Dunoyer de Segonzac,1969)**

## CAPÍTULO 3 MARCO GEOLÓGICO

Este capítulo considera algunos aspectos generales de los alrededores de la zona a la que pertenece el material de estudio, cabe mencionar que debido a la procedencia de la arena, el radio comprendido de esta zona es amplio ya que la ubicación específica del pozo es de carácter confidencial, por tanto los datos encontrados sobre las características geológicas de la misma lleva a definirlo de la siguiente manera:

### 3.1 UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

La Laguna de Términos se localiza en la porción SE, de la Bahía de Campeche, Está comunicada por dos bocas de cerca de 3 kilómetros de anchura y un máximo de 12 metros de profundidad, su forma se asemeja a una elipse con un eje mayor de 70 kilómetros y el menor de 25, con una profundidad máxima de 4.4 metros cerca del centro.



Figura 3.1 Ubicación del área de estudio (PEMEX, 2003)

## 3.2 HISTORIA GEOLÓGICA DE LA REGIÓN

La sedimentación de la cuenca del Golfo de México, permite inferir que se formó por un proceso de “Rift” intracontinental, que posteriormente sufrió una invasión de agua marina y evolucionó hasta convertirse en un margen pasivo.

Durante la primera parte del Jurásico Tardío, se tuvo expansión oceánica en la parte central del Golfo de México, lo que propició el adelgazamiento de la corteza continental involucrada; se formó una corteza transicional hacia los márgenes continentales. De acuerdo con los lechos rojos que afloran en esa zona se puede concluir que existe una gran variedad de edades en las subcuencas del Golfo de México

Existen tres tipos de cortezas resultantes de los procesos y son:

Continental, con espesor de 33 a 48 km.

Transicional Gruesa, con espesor de 20 a 35 km.

Transicional Delgada con espesor de 6 a 20 km.



Fig. 3.2 Tipos de corteza en el Golfo de México (Gheno, 2001)

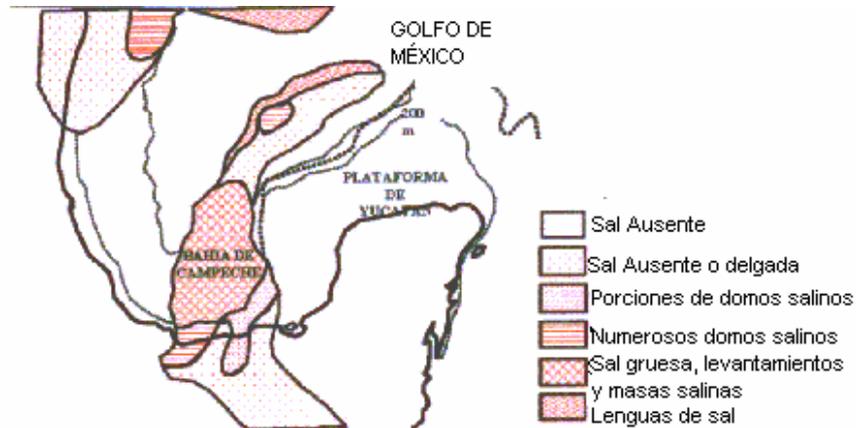
Pindell J.L. y Salvador A. Opinan que la etapa del Rift se inició en el Triásico Tardío y se extendió hasta poco después del depósito de sal en el Calloviano Tardío – Oxfordiano Temprano. En el margen divergente sur, conocido como Bloque Yucatán, el evento Rifting dio lugar a la formación de una topografía regional de fosas y pilares que posteriormente formaron subcuencas.

### **Triásico Superior- Jurásico Inferior**

Las rocas sedimentarias del Golfo de México más antiguas, son consideradas del Triásico Tardío al Jurásico Temprano, conocidas como “lechos rojos” compuestos de clastos no marinos asociados a volcanismo; su composición litológica, la naturaleza de sus escasos fósiles, la variación en espesor y sus relaciones estratigráficas, sugieren que son rellenos de “Grabenes” o “cuencas de Rift” que tuvieron una subsidencia activa durante la depositación desarrollada como abanicos aluviales y fluviales, planicies deltaicas y depósito de lagos.

### **Jurásico Medio**

En el Golfo de México existen grandes áreas de depósitos salinos en forma de diapiros, almohadillas, paredes, riscos, domos, forman incluso anticlinales y cuerpos masivos muy extensos (Salvador A. 1991), en las regiones donde hubo grandes depósitos salinos, dentro de la cuenca del sureste, la sal se levantó hasta profundidades muy someras; afectando así la batimetría del Golfo, indicando que la sal ha fluido o se ha tenido un levantamiento desde tiempos muy recientes y que aún puede estar desplazándose, como se observa la siguiente figura.



**Fig. 3.3 Distribución de los depósitos salinos en el Jurásico Medio (Amos,1987)**

Durante el Jurásico Medio, al abrirse la junta triple que dio origen a la Cuenca del Golfo de México y posteriormente a la Subcuenca del Sureste, se comunicaron el Océano Pacífico y el Océano Atlántico; en la parte media permaneció la isla de Tuxpan (Rueda J.G. 1980).

Se considera que existieran grandes y bruscos cambios que dieron lugar a depresiones donde la sal sufrió una continua y lenta subsidencia, así como áreas positivas entre las depresiones no cubiertas por agua y por tanto no contienen depósitos salinos ( Amos, 1991).

El principal evento de “Rifting” sucedió en este período, donde el mecanismo para la apertura se origina de una junta triple o “hot spot” que evoluciona hasta formar márgenes continentales divergentes, como se observa en la siguiente figura.

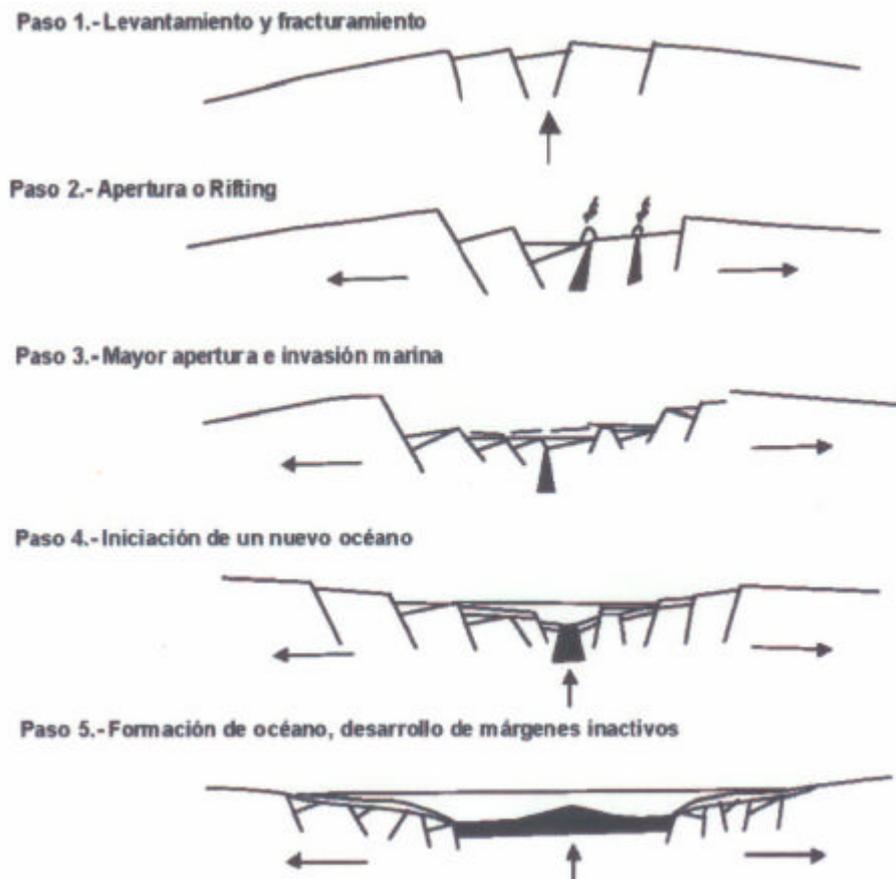


Fig. 3.3 Secuencia del desarrollo de las cuencas Rift  
(Stoneley, R, 1981)

## Jurásico Tardío

Este período no presenta influencia tectónica a gran escala, su sedimentación presenta una transgresión marina que cubrió la mayor parte de la cuenca del Golfo de México, con pequeños períodos de regresión, no presenta cambios abruptos de espesor lo que indica un ambiente de depósito estable; el Jurásico se divide en tres partes para su estudio y son: Oxfordiano, Kimmeridgiano y Tithoniano.

Las rocas encontradas en el Oxfordiano están en los flancos norte-oeste y en la parte sur de la Cuenca del Golfo, en el norte de Chiapas, Tabasco y el área de la bahía de Campeche; el Oxfordiano está representado en la parte inferior de la Formación “Todos Santos”, sin embargo en la península de Yucatán que es una plataforma carbonatada no se observan rocas de esta edad, ya que el base es de edad Cretácico Inferior, indicando así que estaba emergida durante el Jurásico Tardío.

La distribución geográfica del Kimmeridgiano es muy similar a la del Oxfordiano, que sobreyace y se extiende hacia tierra adentro, que aflora en la Sierra Madre Oriental y en el Macizo de Chiapas (conocida como Caliza Chinameca).

En la subcuenca del sureste el Tithoniano está compuesto por calizas arcillosas, abundantes fósiles de amonitas que evidencian un ambiente marino somero (Ana Berta Villaseñor. UNAM). Además que Salvador A. Considera que durante esta edad el mar avanzó sobre la tierra circundante, cubriendo la mayoría de las Islas que permanecían en la periferia del antiguo Golfo de México.

### **Cretácico Temprano**

En este período el Golfo de México tuvo conexión con el Océano Pacífico y Atlántico, al oeste y sureste respectivamente, el agua marina somera cubrió sus bordes y plataformas, donde, progresivamente el agua se hizo mas profunda en el talud y planicie abisal. El Cretácico Inferior se divide en tres unidades, donde la inferior abarca al Berriasiano y Valanginiano, la media al Hauteriviano, Barremiano y Aptiano y la superior al Albiano, Cenomaniano.

Los sedimentos del Cretácico Temprano son principalmente carbonatos y evaporitas en las plataformas que rodean al Golfo y carbonatos en las áreas batiales, para un mejor estudio el Cretácico Temprano se divide en tres unidades principales, la inferior que comprende el Berriasiano y Valanginiano, la unidad media comprende al Hauteriviano, Barremiano y Aptiano y la superior al Albiano y en la parte inferior al Cenomaniano.

### **Cretácico Superior**

En este periodo una caída global del nivel del mar originó una discordancia en el Cenomaniano Medio provocando Karstificación, brechas y el colapso de la mayoría de las plataformas carbonatadas.

### **Cretácico Tardío**

Durante esta época las plataformas gradaron hacia el continente, con condiciones favorables para su desarrollo.

### **Paleógeno**

Durante el Paleoceno el levantamiento del nivel del mar excedió a la subsidencia; comenzó por la sedimentación de sedimentos de aguas profundas que caracteriza por depósitos distales, principalmente por lutitas de aguas profundas, con depósitos de abanicos submarinos y lutitas batiales.

### **Neógeno**

A principio del Mioceno ocurren fuertes plegamientos y cabalgamientos en la parte sur; el Mioceno Inferior está caracterizado principalmente por lutitas gris-verdoso calcáreas.

El Plio-Pleistoceno indica un incremento en el aporte de sedimentos y una rápida progradación hacia el noreste al borde de la plataforma.

### **3.3 GEOLOGÍA REGIONAL**

En las inmediaciones de Ciudad del Carmen, Campeche, la plataforma continental del Golfo de México presenta un cambio litológico entre los sedimentos terrígenos, aportados por el sistema fluvial de los ríos Grijalva-Usumacinta, y los marinos, formados por bioclastos calcáreos. En la superficie de la plataforma continental existen varias ondulaciones e irregularidades, que son interpretadas como remanentes de antiguos depósitos costeros y de arrecifes muertos

La plataforma de Tabasco es angosta; el borde superior del talud se localiza a profundidades de 130 m y dista de 45 a 65 Km del litoral; la pendiente del fondo varía y el gradiente se modifica gradualmente según se incrementa la profundidad. La disposición general de la superficie es convexa. Hacia Campeche la plataforma se amplía considerablemente; su ancho medio es de 160 Km, hasta el borde del talud que yace a 130 m de profundidad. Los sedimentos terrígenos que ahí se encuentran son, en su mayoría, limosos con cantidades variables de gravas, arena o arcilla; los materiales carbonatados son todos calcáreos formados por fragmentos de conchas, de corales y de algas. La mayoría de los sedimentos son polimodales y reflejan los procesos de mezcla habidos durante el transporte y depósito.

La plataforma continental de los estados de Tabasco y Campeche está comprendida en las provincias fisiográficas que Antoine (1972) denominó como Plataforma Oriental de México y Plataforma de Campeche.

La Plataforma Mexicana Oriental es estrecha, con una serie de irregularidades y una cordillera submarina que funciona como barrera, en la cual, los sedimentos y materia orgánica se acumulan.

El extremo más oriental de la primera está caracterizado por los amplios depósitos fluviales aportados por los ríos Grijalva y Usumacinta; la segunda, corresponde con la extensión occidental de los depósitos marinos constituidos por sedimentos biógenos carbonatados.

La plataforma continental de Tabasco y Campeche está limitada por las siguientes coordenadas: 90°42' y 94°00' de longitud oeste, 18°50' y 20°18' de latitud norte. Corresponde a los extremos sureste y suroeste de las provincias geológicas: Bahía de Campeche y Banco de Campeche, respectivamente, propuestas por Antoine (1972).

Los sistemas fluviales que drenan la vertiente del Golfo de México en los estados de Tabasco y Campeche aportan sedimentos terrígenos de granulometría variada procedentes de la llanura costera, constituida por depósitos de aluvión, médanos y terrazas marinas del Cenozoico, y de la zona montañosa formada por rocas ígneas del Cenozoico Superior, sedimentarias del Mesozoico y Cenozoico y metamórficas del Paleozoico (Carta Geológica de la República Mexicana, 1976). El sistema hidrográfico más importante en la región es el de los ríos Grijalva y Usumacinta, cuya descarga fluvial es la más importante de América del Norte, después del Mississippi (Yáñez-Arancibia y Sánchez-Gil, 1988), seguido por las correspondientes a los ríos Tonalá, Chumpán, Candelaria y Champotón.

Los ríos Grijalva y Usumacinta constituyen una amplia red fluvial que ha formado en su desembocadura una llanura deltaica; esos ríos se originan en la serranía de Alto Chucumatanes, Guatemala. Tamayo (1962) considera que esta red comprende el 90% de la superficie de Tabasco y a gran parte de Campeche y Chiapas. El río San Pedro-San Pablo es un afluente del río Grijalva; ha formado un amplio sistema estuarino que incluye al río Palizada y a las lagunas situadas al W de la Laguna de Términos.

El río Tonalá nace en la Sierra Madre de Chiapas y su cuenca de captación es pequeña. Esta corriente es afectada sensiblemente por la marea, que según Tamayo (1962) se remonta por 35 Km y es transmitida a los afluentes. Este río erosiona rocas marinas y continentales del Paleozoico al Cenozoico.

El río Candelaria fluye hacia el extremo oriental de la Laguna de Términos; su área de captación es de aproximadamente 7 700 kilómetros cuadrados; esta corriente se inicia en Guatemala y su cauce erosiona rocas carbonatadas marinas así como sedimentos marinos y costeros del Pleistoceno al Reciente.

Hacia el límite oriental se encuentra el río Champotón, cuyo cauce ha sido labrado en rocas marinas del Eoceno y en sedimentos del Cuaternario al Reciente; esta corriente no ha sido estudiada en detalle.

El Golfo de México presenta gran variedad de rasgos fisiográficos relacionados con su historia geológica comprendida desde el Jurásico hasta el Reciente.

La plataforma continental comprende la zona de transición entre el extremo sureste de la bahía de Campeche y el extremo suroeste del banco de Campeche.

Los rasgos morfológicos superficiales de la plataforma continental de Tabasco y Campeche están indicados por las series de ondulaciones, un pequeño valle fluvial y por remanentes de cauces fluviales. Las ondulaciones pueden ser interpretadas como remanentes de antiguas líneas de costa, arrecifes y terrazas marinas, formados durante épocas estables o ascensos intermitentes del nivel marino durante el Wisconsiniano, situadas esencialmente a profundidades de 18, 36, 70 y 90 m; por tanto, son correlacionables con los niveles estándar propuestos por Curray (1961) y Morner (1971). El relieve observado en el borde superior del talud continental frente al río Grijalva, puede ser relacionado con rasgos tectónicos inherentes a la historia geológica de la plataforma.

Hacia el extremo occidental de la Laguna de Términos la plataforma continental se amplía considerablemente e incrementa la cantidad de carbonatos (Ayala-Castañares, 1963). La zona costera está relacionada con los procesos marinos de depósito y construcción orgánica y corresponde con un banco calcáreo, que ha tenido movimientos verticales, formado por sedimentos carbonatados biógenos acumulados en un mar somero, epicontinental, en ausencia de terrígenos.

En cuanto a la configuración de la costa, la zona montañosa de Tabasco está relativamente cercana al litoral por lo que el drenaje superficial ha sido de gran importancia para el desarrollo y evolución de la llanura aluvial. El relieve llano, suave y uniforme, las amplias llanuras lodosas, las playas arenosas interceptadas por el cauce bajo de los ríos y la configuración costera, que se modifica, de convexa al W, a triangular hacia el E, evidencian el carácter deltaico de la zona.

Estratigrafía

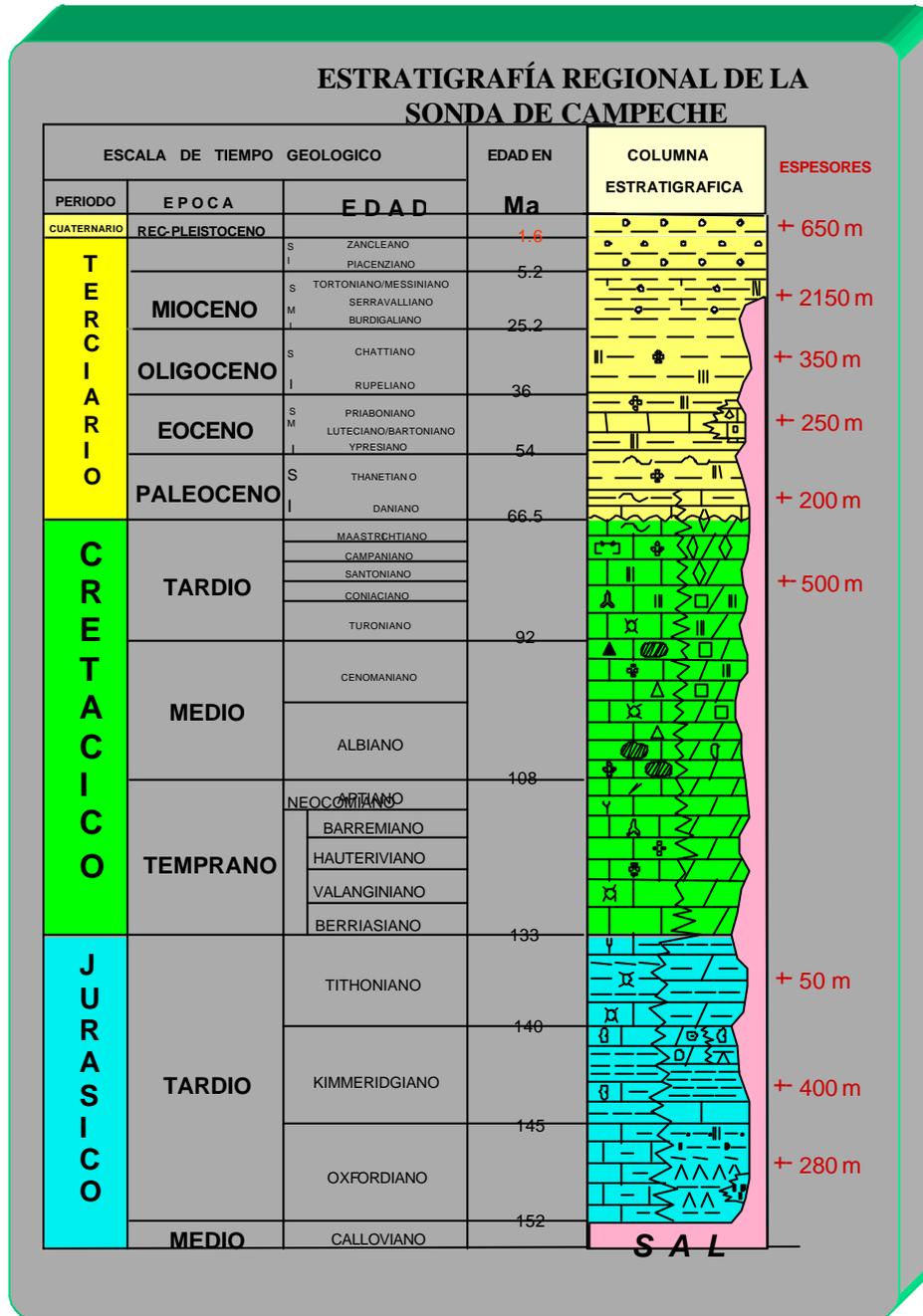


Fig. 3.4 Columna Estratigráfica de la Región (PEMEX, 2003)

EDAD	CIMA	ESPESOR
Plio-Pleistoceno	Fondo marino	650 m
Mioceno	650 m	2150 m
Oligoceno	2800 m	350 m
Eoceno	3150 m	250 m
Paleoceno	3400 m	200 m
Cretácico	3600 m	500 m
Jurásico	4100 m	?

**Tabla 3.1 Columna Geológica de la Sonda de Campeche**

### **Características de los sedimentos de la zona**

La textura, el tamaño, el grado de clasificación, la composición, la geometría y la distribución de los sedimentos junto a la morfología de los cuerpos sedimentarios, son controlados por procesos costeros de tal forma que los rasgos morfológicos costeros de origen depositacional, proporcionan la base para clasificar los diferentes ambientes de depósito.

## CAPÍTULO 4 PROBABILIDAD APLICADA A FASES MINERALES EN ARENAS

### 4.1 INTRODUCCIÓN

Una de las características más notables de esta época consiste en el empleo, cada vez mayor de las ideas de *probabilidad* en una amplia variedad de campos científicos, que abarca temas tan ajenos y diferentes entre sí como son, por ejemplo, las predicciones que hacen los especialistas en genética de la frecuencia relativa con la que aparecen diversas características en grupos de individuos o el mantenimiento de un nivel establecido de calidad en productos manufacturados que llevan a cabo los ingenieros industriales.

Es importante conocer como la probabilidad da lugar a esta diversidad de aplicaciones, por lo que se debe definir una propiedad que tienen en común estos fenómenos y es que se pueden definir como un fenómeno aleatorio.

Un fenómeno aleatorio es un fenómeno empírico que se caracteriza por la propiedad de que, al observarlo bajo determinado conjunto de condiciones, no siempre se obtiene el mismo resultado (de manera que no existe regularidad determinista) sino que los diferentes resultados ocurren con regularidad estadística.

Por tanto se puede definir a la *probabilidad* como la ciencia de los fenómenos aleatorios, en el sentido de que estudia las propiedades de estos fenómenos, que dependen esencialmente del concepto de aleatoriedad y no de otros aspectos particulares. Para la mayoría de la gente, este término es utilizado en el lenguaje cotidiano para indicar de forma numérica la frecuencia con que ocurre un evento futuro.

El concepto de *probabilidad* es necesario cuando se emplea con procesos físicos, biológicos y sociales que generan observaciones que no son factibles de predecir con exactitud. Estos sucesos o eventos aleatorios no se pueden predecir con exactitud, pero la frecuencia relativa con la que ocurren en una gran serie de observaciones es a menudo estable. Los eventos que poseen esta propiedad se denominan eventos aleatorios.

También es considerada como un mecanismo por medio del cual pueden estudiarse sucesos aleatorios, cuando éstos se comparan con los fenómenos determinísticos. Por ejemplo, nadie espera predecir con certidumbre el resultado de un experimento tan simple como el lanzamiento de una moneda.

Por ello la *probabilidad* tiene un papel crucial en la aplicación de la inferencia estadística porque una decisión, cuyo fundamento se encuentra en la información contenida en una muestra aleatoria puede estar equivocada. Sin una adecuada comprensión de las leyes básicas de la probabilidad, es difícil utilizar la metodología estadística de manera efectiva.

Las matemáticas desde hace mucho tiempo han estado asociadas a las ciencias físicas, recientemente han tenido otras aplicaciones importantes en las ciencias biológicas y sociales y por consecuencia de sus aplicaciones, todos los campos de la ciencia han incorporado en forma más amplia a la *probabilidad* y a la estadística.

La *probabilidad* es rama de las matemáticas que se ocupa de medir o determinar cuantitativamente la posibilidad de que ocurra un determinado suceso, por tanto la *probabilidad* es el estudio de fenómenos puramente aleatorios. La Estadística se puede describir como la ciencia de reunir y analizar datos e inferir consecuencias a partir de estos elementos. La palabra probabilidad se utiliza para indicar la frecuencia de que ocurra un evento o resultado.

La definición clásica de probabilidad y en cierto modo, la más simple, se usa cuando un experimento puede tener solamente ciertos resultados definidos, cada uno de los cuales es igualmente probable. En forma más general, se puede escoger un subconjunto llamado *evento* que consiste de  $m$  de los resultados posibles y preguntar cual es la probabilidad de obtener un resultado que pertenezca a ese evento al efectuar el experimento una sola vez. La probabilidad de un evento es la suma de las probabilidades de los resultados que lo componen.

El concepto más aceptado en la actualidad es: si un experimento se repite muchas veces en condiciones idénticas, entonces la probabilidad  $p$  de un evento  $E$  es “a fin de cuentas” el cociente que resulta de dividir el número de veces que acontece el evento  $E$ , entre el número de intentos.

***Población:***

Es el conjunto de valores posibles que toma una característica de un conjunto de individuos o elementos, un universo puede contener varias poblaciones.

***Muestra:***

Está constituida por una parte de los elementos o unidades que componen el universo.

***Frecuencia:***

La frecuencia de un elemento, es el número de veces que dicho elemento aparece en la información obtenida.

***Frecuencia relativa:***

La frecuencia relativa de un evento  $E$  en una serie de ensayos es la relación:

$$\frac{\text{Número de veces que "E" ocurre}}{\text{Número de veces que el ensayo se repite}}$$

## 4.2 Representación gráfica de datos

Una gráfica es una forma ilustrada de representar y resumir datos; a menudo, una representación de datos mediante ilustraciones hace más evidentes ciertas características que una tabla de datos.

Un resultado de representar los datos en forma gráfica es que frecuentemente se descubren nuevas características de ellos; dicha representación de los datos ha logrado un uso creciente en los medios de comunicación y la utilización de la representación gráfica por computadora; existen gráficas de muchos tipos, las más utilizadas son la gráfica de pastel (o de sectores), de barras, lineal, diagrama de tallo y hojas e histograma.

### ***Diagrama de pastel o de sectores***

Se utiliza cuando se considera una correspondencia cuyo dominio contiene un número pequeño de elementos; la frecuencia de cada elemento (esto es su imagen bajo la correspondencia) se expresa como un por ciento (%) de la suma de las frecuencias de todos los elementos en el dominio y este porcentaje se expresa a su vez como el sector de un círculo; donde, si un elemento del dominio ocurre con frecuencia del Q%, entonces, el ángulo correspondiente al sector es igual a:

$$\frac{Q \times 36}{100} \text{ grados}$$

El diagrama de pastel ayuda a observar la importancia relativa de cada categoría respecto a su total.

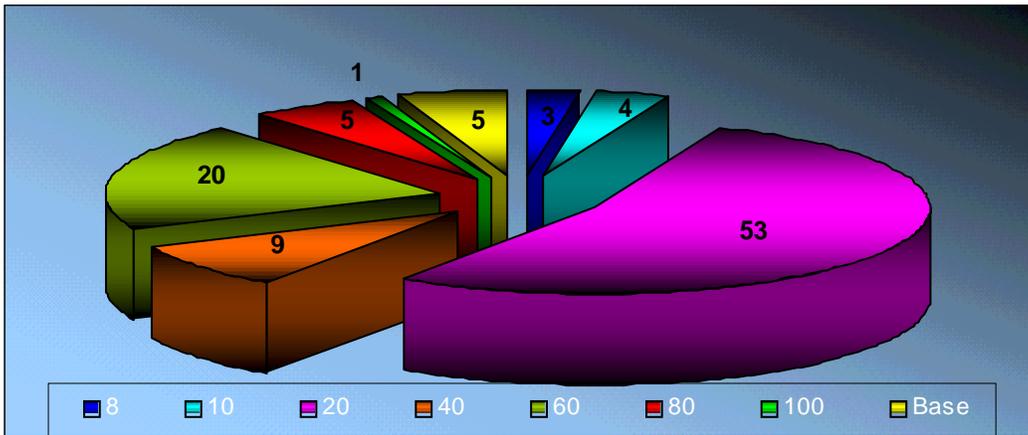


Fig. 4.1 Diagrama circular

**Histograma:**

Es esencialmente un diagrama con barras verticales, donde la base de cada rectángulo representa un intervalo y la altura representa el número de datos en el mismo, donde el porcentaje de cada fase mineral está representado por medio de una columna que permite interpretar los caracteres generales de un sedimento, aunque cabe señalar que la forma de la gráfica está es afectada por los intervalos de malla escogido. El *histograma* es una extensión del diagrama circular puesto que también utiliza áreas para representar las frecuencias, pero en general necesita escoger un número conveniente de grupos en los cuales los elementos del dominio van a ser distribuidos.

La diferencia entre el *Diagrama de barras* y el *Histograma* consiste en que el segundo se utiliza solamente para representar información que consta de números sobre una escala continua; el histograma representa la frecuencia mediante áreas que son proporcionales y el diagrama de barras es la altura de la barra la que es proporcional a la frecuencia, como se observa en la siguiente figura:



**Fig. 4.2 Histograma**

En la construcción del histograma existen algunas características notables como son:

- 1.- Todos los intervalos tienen la misma longitud
- 2.- Los intervalos tienen puntos medios que son números de tres.
- 3.- Los puntos extremos de los intervalos tienen un dígito más después del punto decimal que los datos tabulados.
- 4.- Se utilizan alrededor de diez intervalos.

Los diagramas antes mencionados ayudan a captar de forma rápida la distribución de una variable categórica, el *histograma* compara de forma rápida los datos obtenidos.

***Curva de frecuencia:***

Representa esencialmente un histograma redondeado donde una curva continua en forma de campana toma el lugar de la gráfica discontinua de barras verticales, como el histograma, esta curva tiene únicamente valores pictóricos en el presente trabajo, ya que no fue utilizada para leer parámetros estadísticos, pero permitió una representación mucho mejor de la muestra que el histograma, ya que es independiente del intervalo de mallas utilizado.

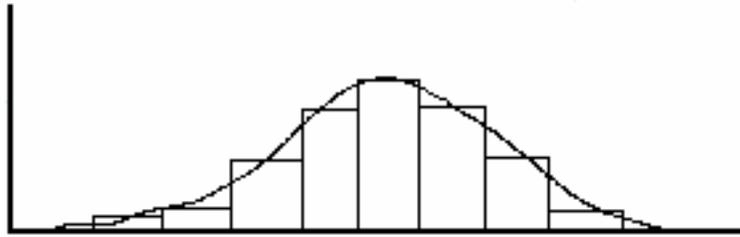


Fig. 4.3 Curva de frecuencia (Chernoff, 1962)

### 4.3 APLICACIÓN

Con los datos obtenidos (Ver Anexo A) se realizaron histogramas y diagramas de sectores para realizar el análisis de este capítulo.

La interpretación geológica que se pudo obtener de este estudio de probabilidad, se presenta de la siguiente manera:

- En los diagramas de sectores, se aprecia el porcentaje de probabilidad que existe de cada una de las fases minerales de ser encontrada en cada una de las mallas, esto indicará la abundancia mineral (Ver anexo D).
- Con los histogramas, se compara el comportamiento mineral en los 3 eventos que se realizaron de conteo de granos para obtener un porcentaje (Ver anexo C).
- Se pueden comparar los resultados representados en los histogramas con los modelos ya establecidos en el campo de la geología, para determinar la selección, madurez, abundancia mineral, distribución del tamaño y el comportamiento de cada fase mineral.

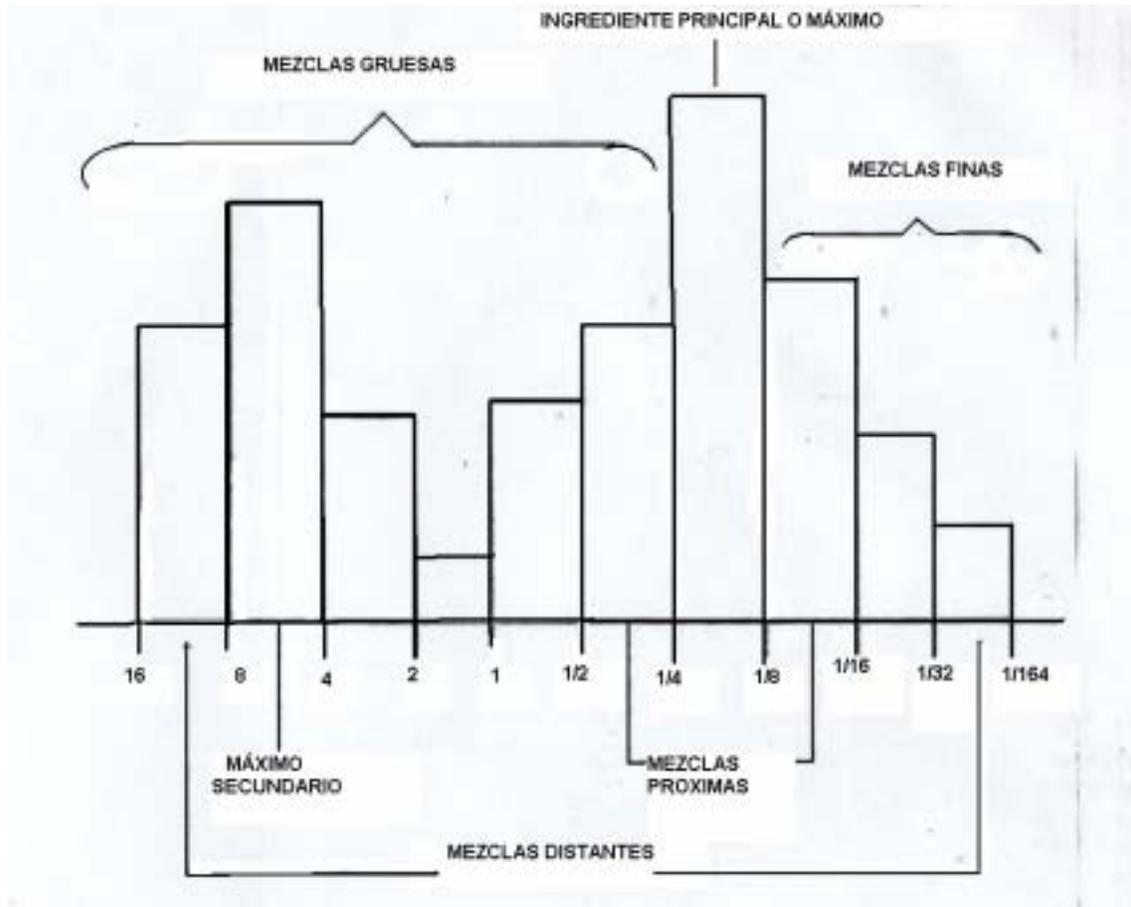


Fig. 4.4 Histogramas que representan las características de la distribución del tamaño

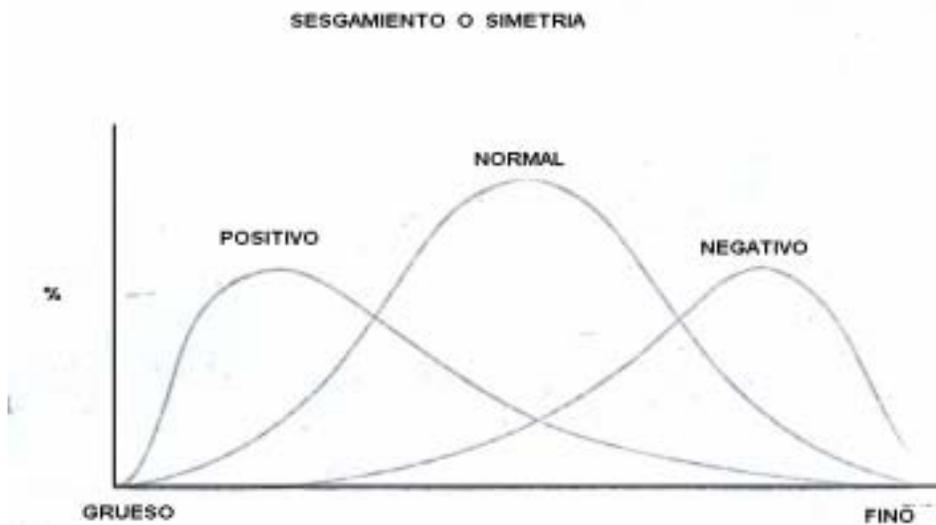


Fig. 4.5 Curvas de Frecuencia que representan la Distribución del tamaño

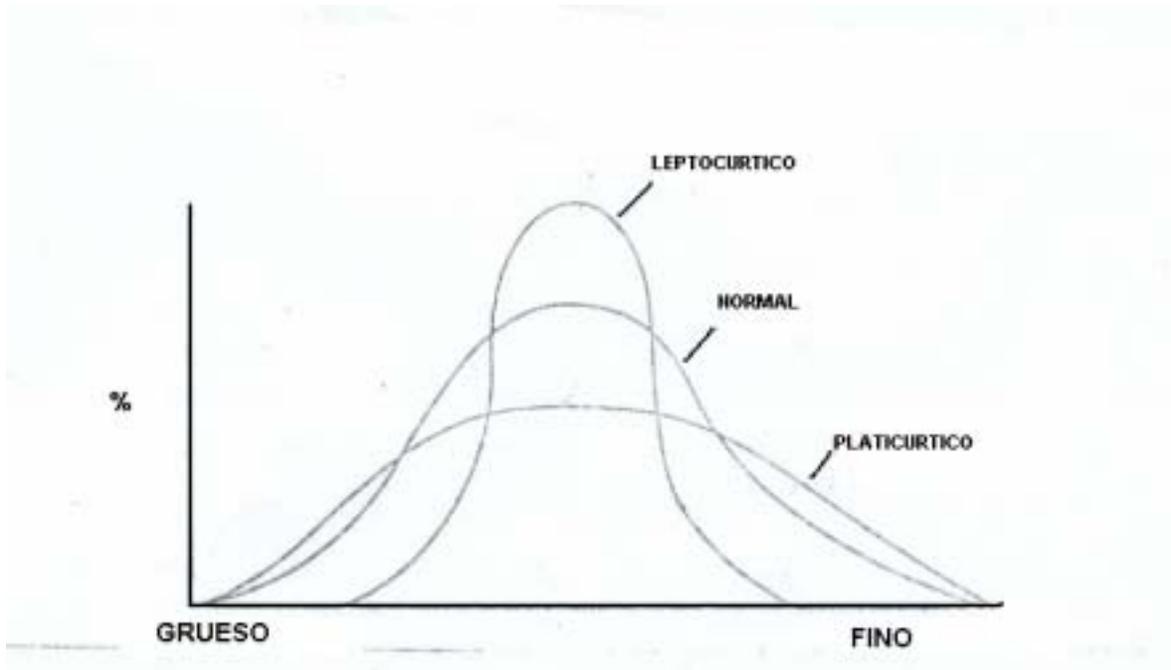


Fig. 4.6 Comportamiento de la curva de frecuencia que determina la selección

Muy bien seleccionado	Maduro
Bien seleccionado	
Moderadamente bien seleccionado	Submaduro
Moderadamente seleccionado	
Pobremente seleccionado	
Muy pobremente seleccionado	Inmaduro
Extremadamente pobremente seleccionado	

Tabla 4.1 comparación para selección y madurez

Muy Platicúrtico	< 0.67
Platicúrtico	0.67 - 0.90
Mesocúrtico	0.90 - 1.11
Leptocúrtico	1.11 - 1.50
Muy Leptocúrtico	1.50 - 3.00
Extremadamente Leptocúrtico	> 3.00

Tabla 4.2 Términos descriptivos para Curtosis

## CAPÍTULO 5 ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 5.1 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

Se realizó el análisis granulométrico a una muestra de arenas con el empleo de 7 mallas, en la siguiente tabla se observan los resultados obtenidos.

No. de malla	Phi	Clases de tamaño según Wentworth	Peso del material retenido (gr)	Porcentaje del material retenido (%)
8	-1.25	Gránulo	0.64	1.96
10	-1	Gránulo	0.17	0.52
20	0.25	Arena Gruesa	0.3	0.92
40	1.25	Arena Mediana	8.54	26.22
60	2	Arena Mediana	11.46	35.19
80	2.5	Arena Fina	7.13	21.89
100	2.75	Arena Fina	2.5	7.67
base			0.87	2.67
<b>TOTAL</b>			<b>31.61 gr</b>	<b>97.04%</b>

**Tabla 5.1 Resultados del análisis granulométrico**

La sumatoria de los porcentajes fue de 97.04%, por tanto de la tabla 5.1, se concluye que las mallas 40, 60 y 80 son las que tienen mayor concentración de muestra retenida y los resultados indican que hubo una pérdida de 0.95 g que corresponde a un 2.96% de la muestra que se considera relativamente despreciable tomando en cuenta que la muestra tiene material de grano muy fino y de manejo complicado.

## 5.2 PETROGRAFÍA

De acuerdo al análisis hecho a las láminas delgadas se encontraron 12 fases minerales que son: calcita, clorita, feldespato, fragmentos de concha, fragmentos de roca, fragmentos de roca alterada, glauconita, micas (biotita y moscovita), pedernal, cuarzo cristalino, cuarzo lechoso, cuarzo rosa.

Acerca de los feldespatos se puede mencionar que por sus propiedades ópticas se encontraron 2 tipos que son: feldespato potásico (microclina) y feldespato sódico cálcico (andesina) y en la muestra de mano se observó también ortoclasa.

De los fragmentos de material orgánico, que se encontraron fueron de diferentes tamaños, tonalidades y organismos, también se observaron microfósiles bien conservados, estos se localizan exclusivamente en las mallas 60 y 80 lo cual se puede corroborar si se toma en cuenta que los microfósiles presentan un tamaño entre 250 y 150  $\mu$  lo que representa valores aproximados a las mallas mencionadas.

De los fragmentos de roca se encontraron 2 tipos el primero de origen sedimentario (calizas que al ser observadas con los microscopios utilizados en este trabajo se clasificaron como mudstone), el segundo tipo de roca que se observó es de origen ígneo plutónico de carácter ácido, del cual no se pudo determinar con precisión de que roca se trataba ya que el tamaño de los granos en el microscopio petrográfico no permitió una clasificación más exacta, pero en el microscopio estereoscópico se podía diferenciar entre una roca sedimentaria y una ígnea.

Se encontraron dos tipos diferentes de micas y se determinó que se trataba de biotita la cual aparece en mayor cantidad y también se observó muscovita.

El cuarzo cristalino que se encuentra en la muestra de acuerdo a sus propiedades ópticas y con base en la forma que presenta, se llegó a la conclusión que es de origen volcánico, ya que es completamente transparente y no presenta inclusiones, además se encontraron ejemplares que mostraban la forma ideal de este tipo de cuarzo (forma bipiramidal-hexagonal).

El Qz lechoso que se observa en la arena se clasificó como un cuarzo de origen hidrotermal volcánico, ya que presenta vacuolas y se pudo observar la extinción ondulante que lo caracteriza.

De la observación al microscopio se pudo determinar que algunos minerales presentaban características ópticas ideales que facilitan su identificación como es el caso de la calcita, clorita y pedernal.

### **5.3 PROPIEDADES FÍSICAS DE LAS ARENAS**

Estas propiedades son factores importantes que se deben tomar en consideración ya que determinan una información relevante sobre la historia del sedimento como el transporte y la madurez entre otras.

A continuación se presentan los datos obtenidos de las arenas en cuanto a estas propiedades:

### **MALLA 8**

<b>FASE MINERAL</b>	<b>REDONDEZ</b>	<b>TAMAÑO (mm)</b>
Frag de Concha	Anguloso	10
	Redondeado	5.3
	Muy anguloso	6.6

### **MALLA 10**

<b>FASE MINERAL</b>	<b>REDONDEZ</b>	<b>TAMAÑO (mm)</b>
Frag. de roca	subredondeado a subanguloso	2.8
Frag. de concha	anguloso	3.2

### **MALLA 20**

<b>FASE MINERAL</b>	<b>REDONDEZ</b>	<b>TAMAÑO (mm)</b>
Qz. Cristalino	subanguloso a anguloso	1.5
Qz. Lechoso	subanguloso a subredondeado	1.4
Frag. de concha	muy anguloso a anguloso	6.9 máx. 1.7 min.
Pedernal	bien redondeado a redondeado	2.8 máx. 1.3 min.
Micas	subredondeada	0.842

**MALLA 40**

<b>FASE MINERAL</b>	<b>REDONDEZ</b>	<b>TAMAÑO (mm)</b>
Qz. cristalino	subanguloso a anguloso	1.26 máx. 0.631 min.
Qz. lechoso	subanguloso a subredondeado	0.842 máx. 0.526 min.
Qz. rosa	subanguloso	0.526
Frag. de concha	subanguloso a subredondeado	3.15 máx. 0.842 min.
Frag. de roca	redondeado	0.947 máx. 0.421 min.
Frag. de roca alterada	subangulosos	0.631
Pedernal	subanguloso a subredondeado	0.947
Micas	subangulosas	1.05
Feldespatos	subredondeados	0.631
Clorita	subredondeados	0.631
Glaucionita	subangulosa	0.526
Calcita	redondeada	0.631

**MALLA 60**

<b>FASE MINERAL</b>	<b>REDONDEZ</b>	<b>TAMAÑO (mm)</b>
Qz. cristalino	anguloso	0.306
Qz. lechoso	subanguloso	0.421
Qz. rosa	subanguloso	0.421
Frag. de concha	subanguloso a muy subangulos	0.346
Frag. de roca	subredondeado	0.315
Frag. de roca alterada	subangulosos	0.421
Pedernal	subredondeado a redondeado	0.421 máx. 0.315 min.
Micas	subredondeados	0.421
Feldespatos	subredondeados	0.315
Clorita	subredondeados	0.233
Glauconita	subredondeada	0.315
Calcita	subangulosa	0.315
Fósiles	Se encuentran en buen estado	0.346

A partir de esta malla se utilizó el analizador de imágenes para obtener los datos que se presentan.

### **MALLA 80**

<b>FASE MINERAL</b>	<b>REDONDEZ</b>	<b>TAMAÑO (mm)</b>
Qz. cristalino	subredondeado a anguloso	0.295
Qz. lechoso	subredondeado	0.209
Qz. rosa	subredondeado	0.108
Frag. de concha	subredondeado	0.319
Frag. de roca	subredondeado a redondeado	0.206
Frag. de roca alterada	subredondeado	0.198
Pedernal	redondeado	0.236
Micas	subredondeado	0.215
Feldespatos	subredondeados	0.231
Clorita	subredondeados	0.356
Glauconita	subangulosa	0.201
Calcita	subredondeado	0.189

**MALLA 100**

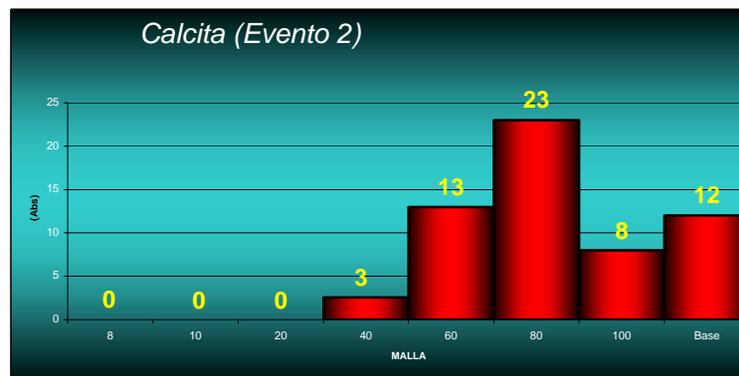
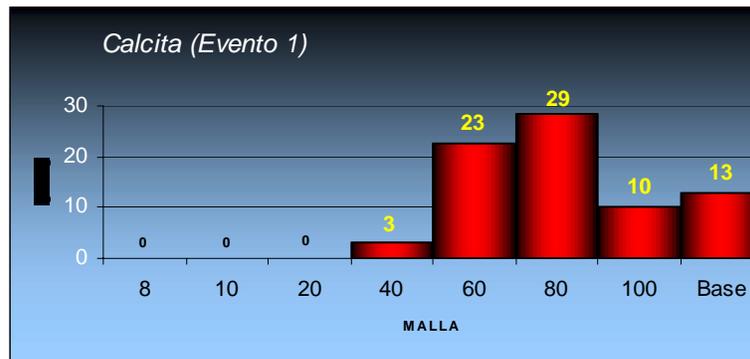
<b>FASE MINERAL</b>	<b>REDONDEZ</b>	<b>TAMAÑO (mm)</b>
Qz. cristalino	subredondeado a subanguloso	0.187
Qz. lechoso	subredondeado a subanguloso	0.194
Qz. rosa	subredondeado a subanguloso	0.186
Frag. de concha	subanguloso	0.294
Frag. de roca	redondeado	0.168
Frag. de roca alterada	subanguloso	0.244
Pedernal	subredondeado	0.239 máx. 0.143 min.
Micas	subangulosas	0.115
Feldspatos	subredondeados	0.101
Clorita	subredondeados	0.356
Glauconita	subangulosa	0.201
Calcita	subredondeado	0.342

**MALLA QUE PASA 100**

<b>FASE MINERAL</b>	<b>REDONDEZ</b>	<b>TAMAÑO (mm)</b>
Qz. cristalino	anguloso	0.113
Qz. lechoso	subredondeado	0.113
Qz. rosa	subredondeado	0.119
Frag. de concha	subredondeado	0.126
Frag. de roca	subredondeado a redondeado	0.113
Frag. de roca alterada	subredondeado	0.126
Pedernal	redondeado	0.126
Micas	subredondeados	0.119
Feldespatos	subredondeados	0.119
Clorita	subredondeados	0.113
Glauconita	subangulosa	0.126
Calcita	subredondeado	0.113

## 5.4 INTERPRETACIÓN GEOLÓGICA DE LOS HISTOGRAMAS

En los histogramas se observa la distribución del tamaño, la cual indica como se concentra en las mallas la mayor cantidad de muestra, esto se realizó para cada una de las fases minerales, la explicación del procedimiento de la interpretación se indica en el siguiente ejemplo:



Para clasificar las fases minerales de los 3 eventos realizados se tomaron en consideración las 2 gráficas que tuvieran un comportamiento similar; se excluyó la gráfica restante, para evitar errores en la interpretación.

En este ejemplo se observa el comportamiento de la calcita; si se comparan los eventos realizados, la mayor cantidad se concentra en las mallas 60,80 y 100, lo cual indica que la calcita presenta tamaño fino.

De acuerdo con la Fig. 4.4 y con respecto a la Fig. 4.5 se observa un sesgamiento negativo que indica tamaños finos; su valor de curtosis, que fue obtenido por medio de Excel, es de -0.731, que de acuerdo a la Tabla 4.2 se observa un comportamiento platicúrtico, lo que indica que la calcita presenta una mala selección (el comportamiento de los granos no es homogéneo) e inmadurez. Los resultados de estas gráficas indican que la calcita no se observa en las mallas de la 8 a la 40, pero que podría seguir apareciendo en las siguientes mallas que pasan de la 100.

A continuación se presentan los resultados de este análisis, los diferentes eventos de cada una de las fases pueden consultarse en el anexo C.

CLORITA: Las gráficas de la clorita indican que tiene un sesgamiento hacia el lado negativo (Finos), el valor de la curtosis es de 0.468, por tanto es normal (mesocúrtica) y se encuentra moderadamente seleccionada y submadura. posiblemente los granos de clorita podrían seguir apareciendo, hacia las mallas mayores a 100.

FELDESPATOS: Los feldespatos tienen un sesgamiento negativo (granos finos); el valor de curtosis es de -0.842 por lo tanto es muy platicúrtica lo que indica que es extremadamente pobremente seleccionada e inmadura, su distribución se observa similar a la clorita.

FRAGMENTOS DE CONCHA: Su sesgamiento es positivo (tamaño grueso), su valor de curtosis es de -1.298 de forma leptocúrtica y con las gráficas obtenidas se observa que sólo se encuentra en las primeras mallas y va desapareciendo en las mallas más finas.

FRAGMENTOS DE ROCA: En esta fase mineral se observa que su sesgamiento negativo (finos), su valor de curtosis es 0.919 lo que indica que es mesocúrtico y se encuentra moderadamente bien seleccionado y submaduro, aunque en las mallas 60 y 80 se observa mayor contenido de fragmentos de roca; esta fase aparece en toda la serie de mallas utilizadas, por tanto se determina que desde los tamaños gruesos a las mallas superiores a 100 seguirá apareciendo esta fase mineral.

FRAGMENTOS DE ROCA ALTERADA: En los resultados obtenidos existe un error en el conteo de granos; esto se observó por medio de las gráficas y se considera que es debido a la pequeña cantidad que se encuentra de estos fragmentos, aun considerando este error se le dio la siguiente clasificación: sesgamiento es negativo (finos), su valor de curtosis es de 1.785 por tanto es muy leptocúrtico, esto indica que se encuentra bien seleccionado y maduro, en las gráficas se observa que en ciertas mallas desaparece, aunque su distribución es confusa, no se puede determinar si seguirá presente conforme las mallas sean mayores a 100.

**GLAUCONITA:** La mayor cantidad de esta fase se encuentra entre las mallas 40 y 60, con sesgamiento negativo (finos), su valor de curtosis es de -1.05 lo que indica que es platicúrtico y por tanto es extremadamente pobremente seleccionado e inmaduro y podría seguir apareciendo en las siguientes mallas.

**MICAS:** La mayor cantidad de micas se encuentra en las mallas 20 y 40, las micas no presentan un comportamiento similar al de las otras fases, ya que tiene una abundancia reducida en la muestra lo que implica, que al hacer el conteo de granos no aparezca o aparezca en menor cantidad que otros, aun así se consideró la siguiente interpretación: sesgamiento negativo (finos), su valor de curtosis es de -1.692 por tanto se considera muy platicúrtico y extremadamente pobremente seleccionado e inmaduro y por los resultados observados en las gráficas, no son muy confiables o poco certeros para indicar si seguirán apareciendo en las siguientes mallas.

**PEDERNAL:** Su sesgamiento es negativo (finos), su valor de curtosis es de 2.203 lo que indica que es muy leptocúrtico y se considera bien seleccionado y maduro, la mayor cantidad de pedernal se encuentra en las mallas 60 y 80, se piensa que seguirán apareciendo en las mallas de tamaño fino.

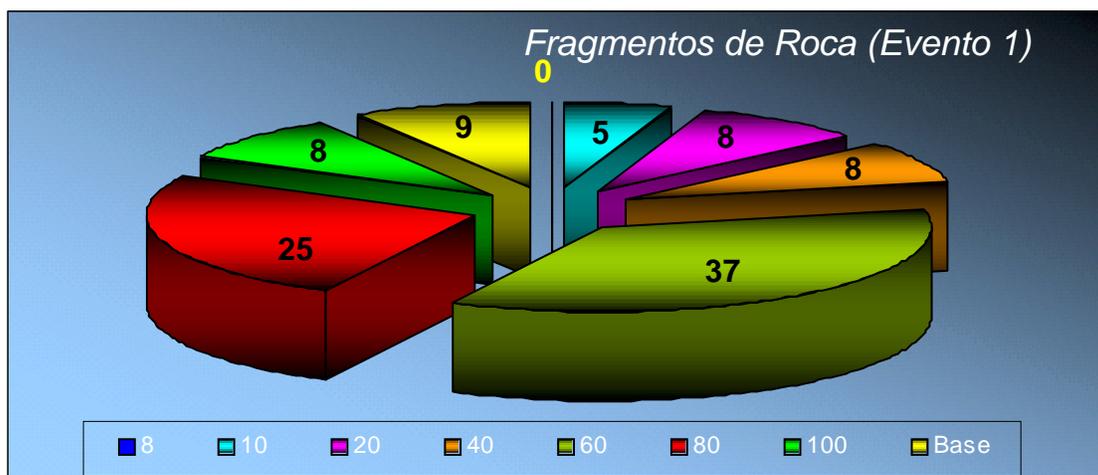
**CUARZO CRISTALINO:** La mayor cantidad de Qz cristalino está entre las mallas 60 y 80, tiene un sesgamiento negativo (finos), presenta un valor de curtosis de 3.983 y es extremadamente leptocúrtico, lo que da como resultado que se encuentra bien seleccionado y maduro, su permanencia se observa en las mallas finas.

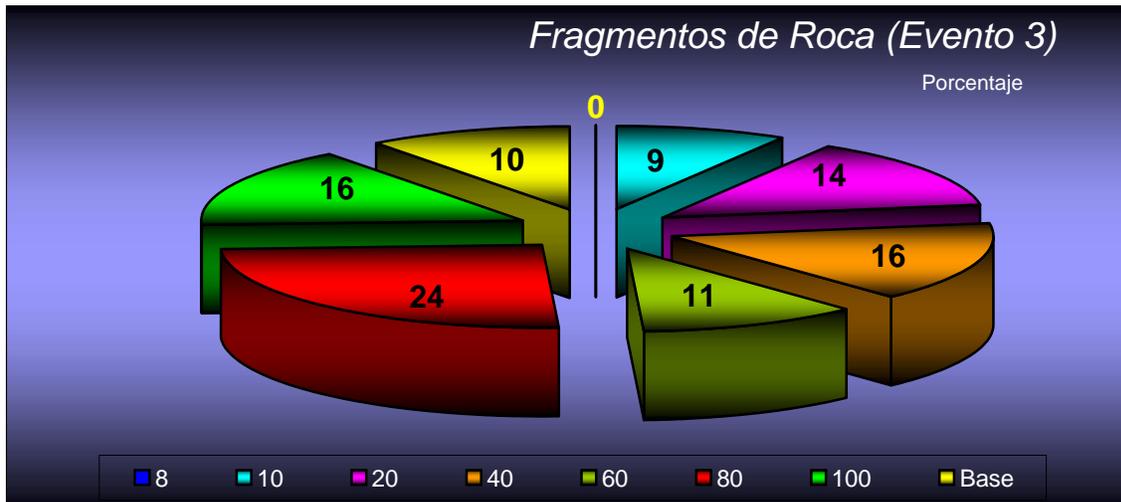
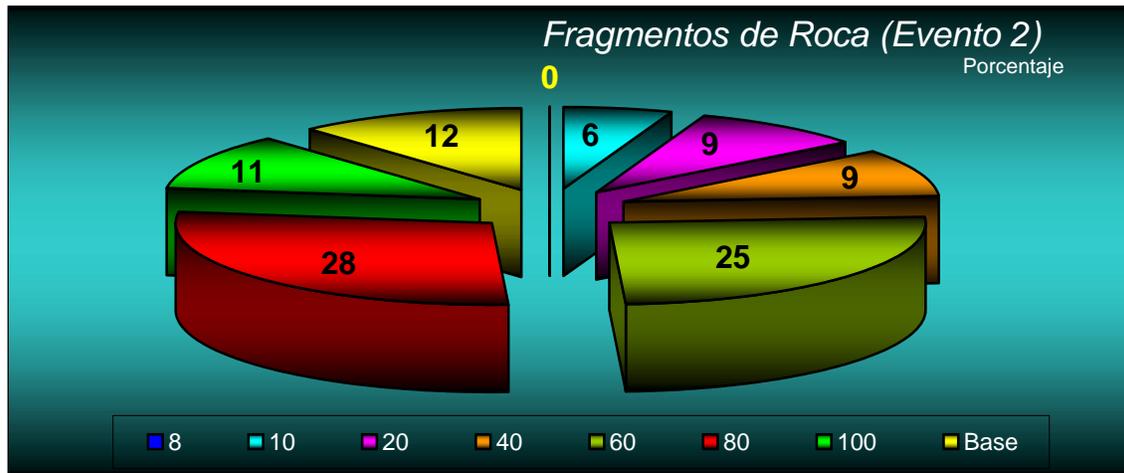
**CUARZO LECHOSO:** El cuarzo lechoso tiene un sesgamiento negativo (finos), su valor de curtosis es de 2.848 lo cual indica que es muy leptocúrtico, bien seleccionado y maduro, con mayor cantidad en las mallas 60 y 80, observándose su continuidad.

**CUARZO ROSA:** Sesgamiento negativo (finos), su valor de curtosis es de 0.775 y por tanto es platicúrtico, lo que indica que es en extremo pobremente seleccionado e inmaduro y sólo se observa en las mallas 40,60 y 80; indicando en las graficas que no aparece en las mallas menores a 40 y mayores a 80.

## 5.5 DISTRIBUCIÓN DE LAS FASES MINERALES EN LAS MALLAS

Para ejemplificar esta distribución, se realizaron diagramas de sectores observándose en el porcentaje obtenido la continuidad o desaparición de cada fase mineral en las mallas, en cada uno de los 3 eventos.





En este ejemplo se describe la aplicación de las gráficas de pastel, en el evento 1 se observa que existe un 37% de probabilidad de que al tomar una muestra de la malla 60 se encuentre un fragmento de roca. Este criterio es aplicable a cualquier fase mineral de cualquier evento. Para determinar la distribución total del tamaño de la arena se realizaron gráficas de la muestra, lo que incluye todas las fases minerales, en las cuales se observa que la mayor cantidad de granos se encontró en las mallas 40, 60 y 80; estas gráficas proporcionan los datos de los 3 eventos realizados, (Ver anexo B).

## 5.6 CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS DE LAS ARENAS

Se determinó que las arenas pertenecen a un ambiente fluvial, ya que éstos son sistemas complejos de erosión, transporte y depósito de sedimentos que dan lugar a una morfología variada. Las mayoría de las arenas fluviales están asociadas con canales de corriente aunque algunas se depositan sobre las llanuras de inundación.

Las arenas pueden ser generadas por procesos de intemperismo (físico y químico) por acción volcánica, por movimientos de la tierra y por acción química y bioquímica. Algunas arenas pueden ser producto de un solo proceso, mientras que otras son compactas y contienen materiales de diferentes orígenes.

La roca original juega un papel importante en la determinación del carácter de una arena. Material aportado por pequeñas vertientes de diferente litología difieren una de otra; sin embargo, arenas derivadas de una fuente dada, difieren en composición de esa misma fuente ya que algunos minerales son más susceptibles al intemperismo que otros y se pierden selectivamente; dicha pérdida está gobernada por la naturaleza del mineral, por la naturaleza e intensidad de los procesos de intemperismo y por la duración de la acción. El clima gobierna al intemperismo, la tectónica controla el relieve. Bajo condiciones de relieve bajo y clima húmedo templado solamente las especies estables se conservan, con alto relieve la erosión es acelerada y el intemperismo es interrumpido, así que las especies estables escapan a la destrucción y aparecen en las arenas.

El esqueleto de una arena puede ser descrito en términos de su geometría o composición, es decir se deben estudiar el tamaño, selección, forma y redondez.

La distribución de tamaño puede ser definida por medidas estadísticas de tamaño y uniformidad del mismo; estas características están relacionadas con el régimen hidráulico específico que gobernó el depósito de la arena, así como por el tamaño de los materiales disponibles de las corrientes depositantes. Los granos de las arenas exhiben una variedad de formas así como de redondez.

Dentro de los minerales más abundantes en las arenas se encuentran los feldespatos potásico, principalmente microclina, la cual se deriva de rocas plutónicas ácidas. La supervivencia de un feldespato parece ser función de la intensidad del proceso de decaimiento y del tiempo o duración de tal acción. Donde el relieve es alto y la erosión es rápida, el feldespato escapará a la descomposición completa y aparecerá en las arenas, donde el relieve es bajo y la erosión retardada, el feldespato será destruido.

Otro componente importante de las arenas son los fragmentos de roca de grano fino, su durabilidad es muy variable, el pedernal y los fragmentos felsíticos tienden a sobrevivir a la acción abrasiva, mientras que los esquistos son muy susceptibles de destrucción. Es por esta razón que se piensa en un transporte corto, cuando las arenas contienen abundancia de tales fragmentos.

La biotita y muscovita son las micas comunes; la biotita ha sido alterada en muchos casos a clorita y en casos raros a glauconita. Las hojas de mica pueden estar bien redondeadas lo que quizá indique un movimiento de la corriente muy lento con un suave vaivén.

Una consideración importante que debe ser tomada en cuenta es la existencia de una relación entre el tamaño de la partícula y el ambiente de depósito.

Un error que se comete frecuentemente al estudiar el tamaño de las partículas es la idea de que un sedimento al tener grano fino, se encuentra alejado del área-fuente, mientras que si es de grano grueso, está cerca de ella. Muchos estudios de distintos ambientes de depósito indican que los sedimentos se hacen más finos al alejarse de la fuente, pero estos cambios son tan variados que sólo pueden interpretarse con un intensivo trabajo de campo y laboratorio.

El tamaño del grano depende principalmente de la energía de la corriente en el lugar del depósito, así como del tamaño original de las partículas y no de la distancia.

Para poder interpretar el significado del tamaño de los granos es necesario estudiar un gran número de muestras aunque cabe mencionar que es una importante propiedad descriptiva y sólo si se reúnen más datos se podrá aprender a conocer su significado.

El tamaño promedio de los granos es función, al mismo tiempo, del tamaño del material disponible como de la cantidad de energía proporcionada al sedimento, la cual depende, a su vez, de la velocidad de la corriente o de la turbulencia del medio de transporte, con lo cual, se concluye que los sedimentos generalmente disminuyen de tamaño en la dirección del transporte. Y esto es el resultado, no de la abrasión, sino de la clasificación selectiva, por la cual los granos más pequeños se adelantan a los más grandes y pesados, en el sentido de la corriente.

Los fragmentos generalmente se reducen de tamaño a medida que la energía del medio de transporte disminuye; así, en aquellas zonas donde la acción de las olas es dominante, los sedimentos finos se encuentran en las aguas más profundas, ya que allí es muy pequeña la influencia de las olas sobre el fondo del mar (la turbulencia es máxima en las aguas poco profundas de la zona de rompiente).

Asimismo, donde predomina la acción de las corrientes, particularmente en los canales de marea, los sedimentos de grano más grueso se encuentran en las aguas poco profundas, debido a la fuerte acción de las corrientes sobre el fondo. Es necesario realizar investigaciones para lograr cuantificar y correlacionar los cambios de tamaño con la profundidad, con la energía de las olas y los demás factores ecológicos.

Se ha encontrado que los sedimentos provenientes de una sola fuente (la mayoría de las arenas de playa, arenas eólicas, etc.) tienen distribución casi normal, los resultados de este estudio pueden indicar que la arena pertenece a una sola área ya que en las gráficas obtenidas se aprecia una distribución casi normal en al menos uno de los eventos realizados (en el caso del fragmento de roca alterada).

Otro factor importante es el transporte, el cual reduce el tamaño de la grava por abrasión y astillamiento y a veces por fractura; sin embargo, en los tamaños de arena se cree que hay muy poca reducción de tamaño debido al transporte. Las diferencias en el tamaño de los granos entre los varios depósitos son debidas principalmente a la clasificación selectiva y no a la abrasión; las partículas finas, llevadas por casi todas las corrientes, se adelantan a las gruesas que únicamente transportan las corrientes más fuertes. En consecuencia no puede decirse que una arena fina ha sufrido abrasión durante más tiempo que otra de grano más grueso, sino simplemente que ha sido transportada más lejos, o depositada por corrientes más débiles.

La clasificación selectiva origina también diferencias de forma y de esfericidad entre las muestras, los granos gruesos se redondean más fácilmente que los finos, ya que chocan con mayor impacto y además tienden a rodar sobre el fondo, mientras que los finos son llevados en suspensión.

## CAPÍTULO 6 CONCLUSIONES

En el estudio realizado se obtuvieron los resultados que se propusieron en el objetivo. Este trabajo se desarrolló con el propósito de conocer el método de trabajo para determinar la historia geológica de una arena, así como para desarrollar habilidades en la determinación de las características petrográficas en arenas, por tanto el objetivo planteado fue alcanzado plenamente además de que permitió conocer la dimensión de los requisitos para realizar un estudio sedimentológico de arenas por medio del método científico.

De primera instancia se debe mencionar que se desconoce el método de muestreo, por tanto no se conoce la forma de recolección, ni ubicación geográfica específica, ni la profundidad en que se encontraba, esta falta de información limita de manera importante un resultado preciso.

Otro factor importante que limita los resultados es que sólo se tuvo una muestra del pozo, lo cual reduce el campo de estudio; para obtener un mejor resultado del empleo de este método, se necesita realizar el muestreo con una cantidad mayor la cual se considera suficiente de 250 g; se separa la mitad para su estudio y la restante se guarda como testigo para cualquier aclaración en los resultados. Si se trabaja con poca cantidad ocurre una serie de errores que se ven reflejados en los resultados, por tanto para un mejor estudio se debe tomar varias muestras a diversas profundidades y de diferentes pozos para así compararlos y correlacionarlos; obteniéndose sus características mineralógicas y no solo una distribución de las fases minerales. Además determinar su ambiente sedimentario, así como otras características que sean rentables para algún proyecto específico; en este caso, el empleo de la probabilidad arroja datos muy importantes, que -----

aunados a los estudios petrográficos se puede determinar tanto la distribución de las arenas, como la madurez, el transporte y la probable continuidad o desaparición de éstas.

Una herramienta valiosa para este tipo de estudios es la estadística, ya que en petrología sedimentaria determina una buena técnica experimental de análisis con la que se reúnen datos analíticos y se llegan a conclusiones geológicas correctas, en este caso esto no fue posible debido a las limitaciones antes mencionadas.

El método realizado se considera aplicable bajo las siguientes condiciones: se debe tener el material disponible en el laboratorio como sería una serie completa de mallas para tener un mejor control en cuanto a la distribución del tamaño, se debe contar con personal que tenga experiencia en la laminación de arenas para obtener mejores resultados en el análisis petrográfico. Dicho análisis (recolección de muestra, laminación y estudio estereoscópico - petrográfico) debe realizarse con mucho detalle para evitar pérdidas económicas, si éste es aplicado dentro de una empresa.

Este análisis puede resultar económicamente elevado si no se tiene a disposición el equipo necesario, como son microscopios especializados y reduce tiempo si se cuenta con la experiencia en la identificación de minerales.

Con este estudio se llegó a la conclusión de que el método no es aplicable a cualquier arena, la principal limitante es que debe aplicarse a un intervalo de tamaños parecido al que se manejó en este trabajo porque en los granos de

tamaño muy pequeños se dificulta su manejo, la identificación y separación en microscopio estereoscópico, así como dificulta el proceso de laminación, lo que conlleva a que la calidad de las láminas delgadas no sea la propicia.

El método puede resultar de gran interés para diversos tipos de industria por su valor económico, ya que las arenas sirven como abrasivos, como materia prima en la industria química, vítrea y metalúrgica, así como en la industria de la construcción; asimismo las arenas son importantes almacenadoras de fluidos como gas y aceites.

Por otra parte, algunas arenas contienen yacimientos minerales de placer y en ocasiones piedras preciosas. Es importante aclarar que la erosión y el depósito de las arenas tienen influencia en las obras de ingeniería, en las playas y ríos.

Además de su importancia económica las arenas contribuyen a la comprensión de la historia geológica, ya que su composición es clave de su procedencia.

# ANEXO A

# TABLAS

Tabla de la Distribución Total Evento 1

	Malla 8		Malla 10		Malla 20		Malla 40		Malla 60		Malla 80		Malla 100		Superior	
	%	Abs	%	Abs	%	Abs	%	Abs	%	Abs	%	Abs	%	Abs	%	Abs
Calcita	0	0	0	0	0	0	3	3	5	23	10	29	10	10	12	13
Clorita	0	0	0	0	0	0	2	2	1	5	1	3	1	1	1	1
Feldespatos	0	0	0	0	0	0	5	5	3	14	5	14	5	5	5	6
Frag. Concha	100	3	28	4	56	61	10	10	5	23	2	6	1	1	5	6
Frag. Roca	0	0	72	10	15	16	15	15	15	68	17	48	16	16	15	17
Frag. Roca Alt	0	0	0	0	0	0	1	1	1	5	1	3	1	1	1	1
Glauconita	0	0	0	0	0	0	3	3	1	5	1	3	3	3	2	2
Mica	0	0	0	0	4	4	3	3	1	5	0	0	3	3	3	3
Pedernal	0	0	0	0	0	0	10	10	5	23	15	43	10	10	10	11
Qz Cristalino	0	0	0	0	15	16	35	35	42	189	30	86	30	31	30	33
Qz Lechoso	0	0	0	0	10	11	11	11	20	90	17	48	20	20	16	18
Qz Rosa	0	0	0	0	0	0	2	2	1	5	1	3	0	0	0	0
# Granos	3		14		109		100		451		285		102		110	

Tabla de la Distribución Total Evento 2

	Malla 8		Malla 10		Malla 20		Malla 40		Malla 60		Malla 80		Malla 100		superior	
	%	Abs	%	Abs	%	Abs	%	Abs	%	Abs	%	Abs	%	Abs	%	Abs
Calcita	0	0	0	0	0	0	2	3	5	13	7	23	6	8	10	12
Clorita	0	0	0	0	0	0	1	1	2	5	1	3	2	3	1	1
Feldespató	0	0	0	0	0	0	4	5	4	11	5	17	5	6	5	6
Frag. Concha	100	3	28	4	56	61	12	15	3	8	1	3	0	0	2	2
Frag. Roca	0	0	72	10	15	16	13	17	17	45	15	50	16	20	18	21
Frag. Roca Alt	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1
Glauconita	0	0	0	0	0	0	3	4	2	5	2	7	3	4	2	2
Mica	0	0	0	0	4	4	5	6	0	0	0	0	0	0	2	2
Pedernal	0	0	0	0	0	0	12	15	3	8	15	50	12	15	12	14
Qz Cristalino	0	0	0	0	15	16	32	41	42	111	35	116	40	50	28	32
Qz Lechoso	0	0	0	0	10	11	12	15	20	53	18	60	15	19	19	22
Qz Rosa	0	0	0	0	0	0	3	4	2	5	1	3	0	0	0	0
# Granos	3		14		109		128		264		331		125		115	

Tabla de la Distribución Total Evento 3

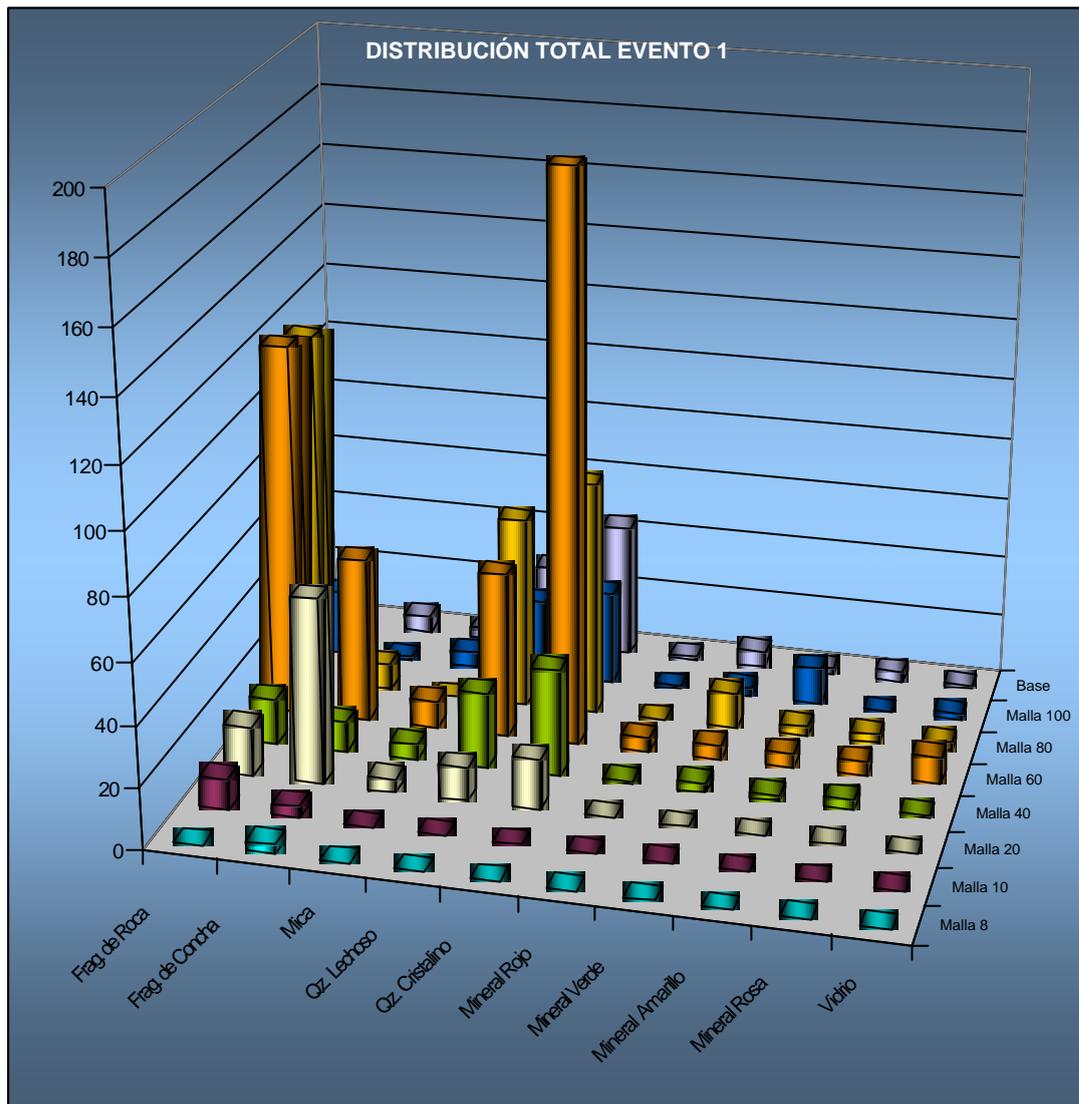
	Malla 8		Malla 10		Malla 20		Malla 40		Malla 60		Malla 80		Malla 100		Pasa de 100	
	%	Abs	%	Abs	%	Abs	%	Abs	%	Abs	%	Abs	%	Abs	%	Abs
Calcita	0	0	0	0	0	0	4	6	5	6	12	23	11	12	10	8
Clorita	0	0	0	0	0	0	1	2	1	1	1	2	1	1	1	1
Feldespato	0	0	0	0	0	0	5	8	4	5	6	11	4	4	5	3
Frag. Concha	100	3	28	4	56	61	10	15	3	4	1	2	0	0	2	2
Frag. Roca	0	0	72	10	15	16	12	18	10	13	15	29	16	18	15	12
Frag. Roca Alt	0	0	0	0	0	0	1	2	2	3	0	0	0	0	1	1
Glauconita	0	0	0	0	0	0	3	5	1	1	1	2	1	1	2	2
Mica	0	0	0	0	4	4	3	5	0	0	1	2	0	0	4	3
Pedernal	0	0	0	0	0	0	10	15	3	4	15	29	10	11	12	10
Qz Cristalino	0	0	0	0	15	16	35	53	40	50	27	52	37	41	30	25
Qz Lechoso	0	0	0	0	10	11	12	18	30	38	20	38	20	22	18	15
Qz Rosa	0	0	0	0	0	0	3	5	1	1	1	2	0	0	0	0
# Granos	3		14		109		150		125		191		110		82	

# ANEXO B

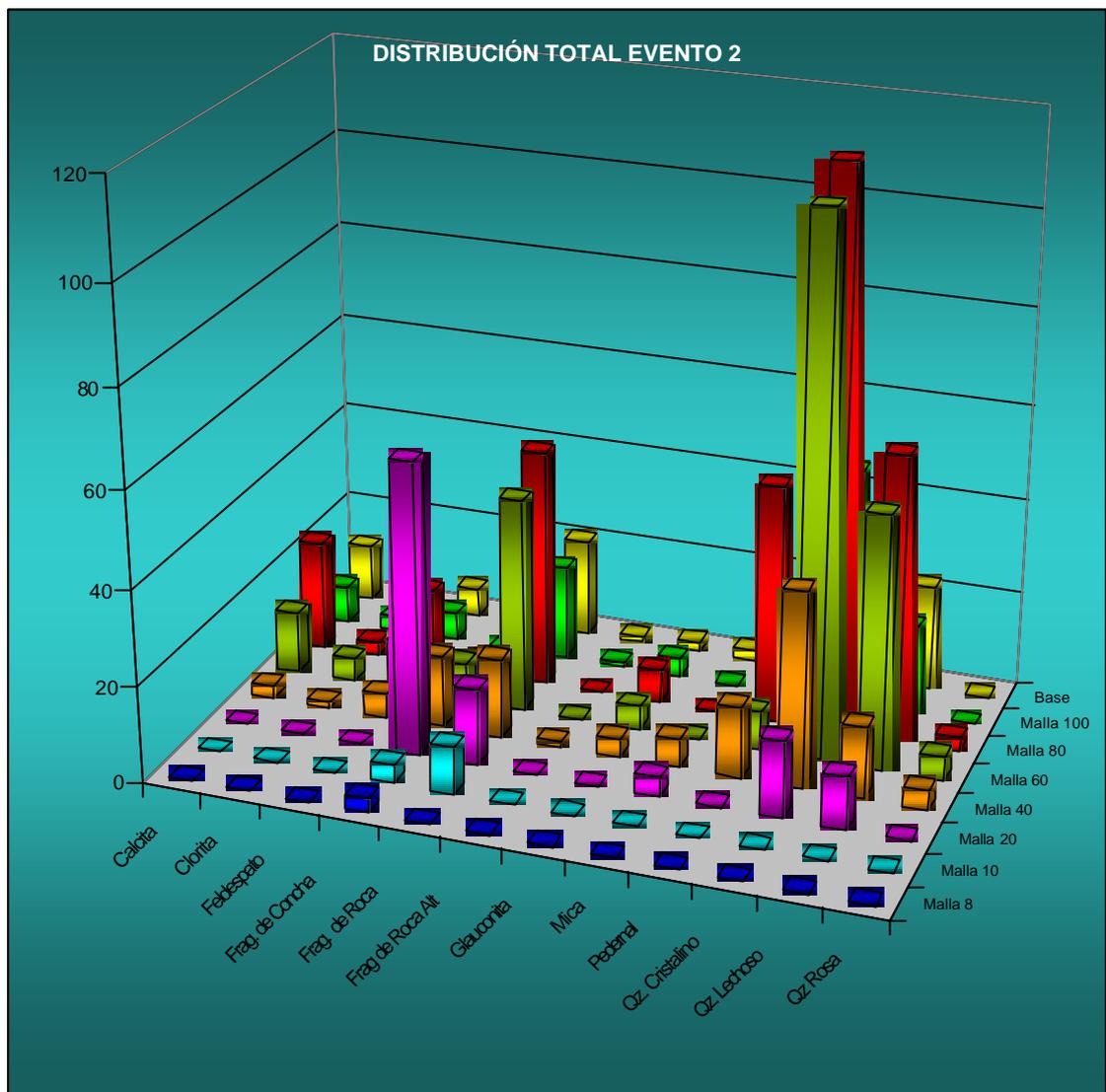
  

# GRÁFICAS DE DISTRIBUCIÓN TOTAL

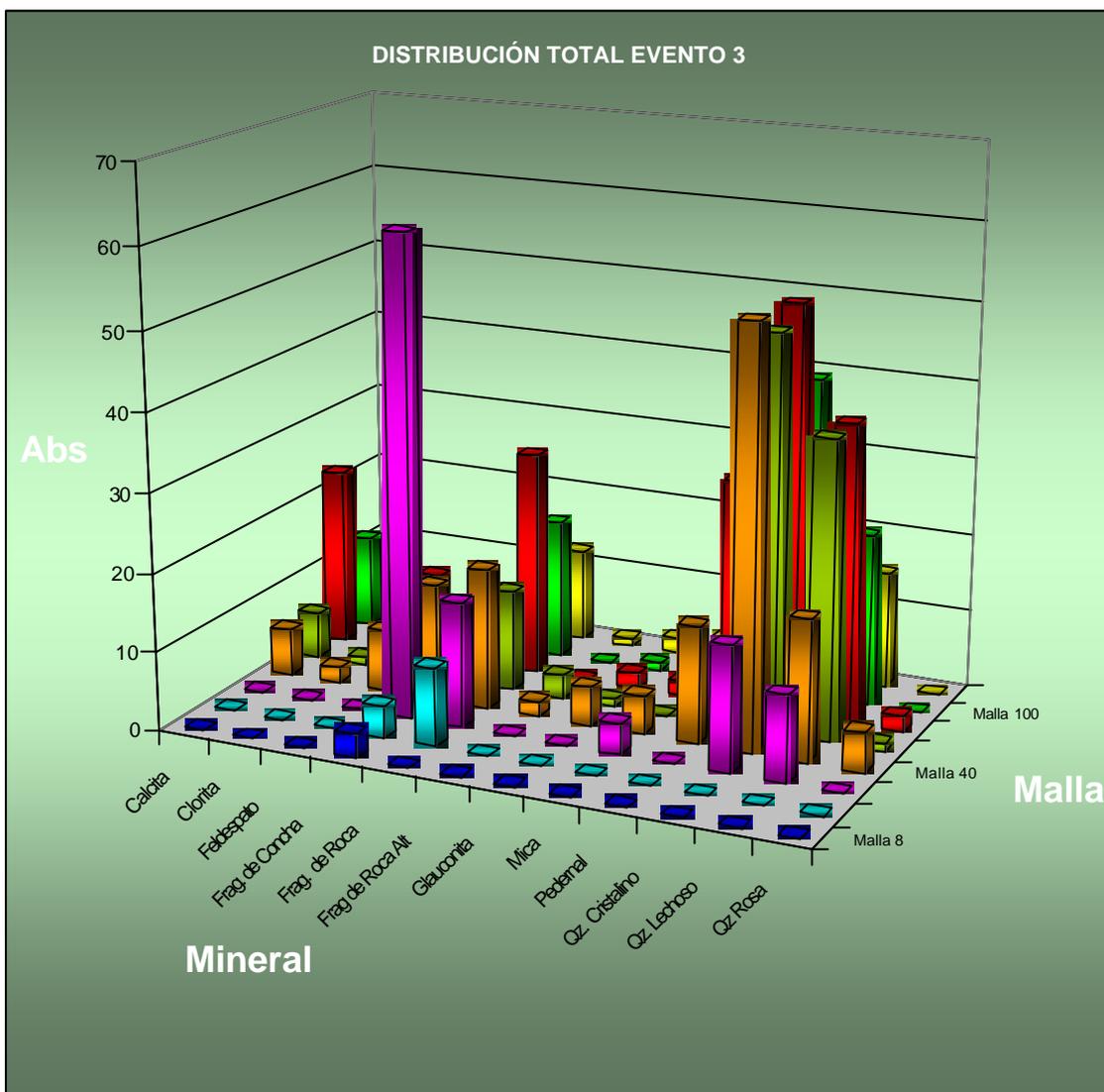
## Distribución Total Evento 1



## Distribución Total Evento 2



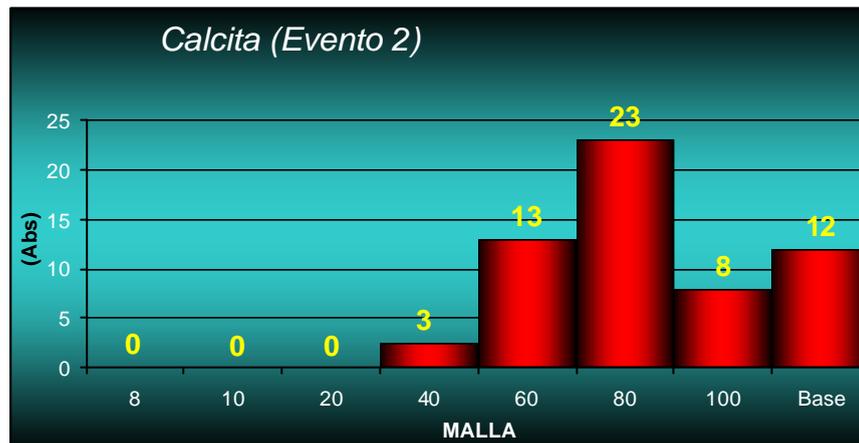
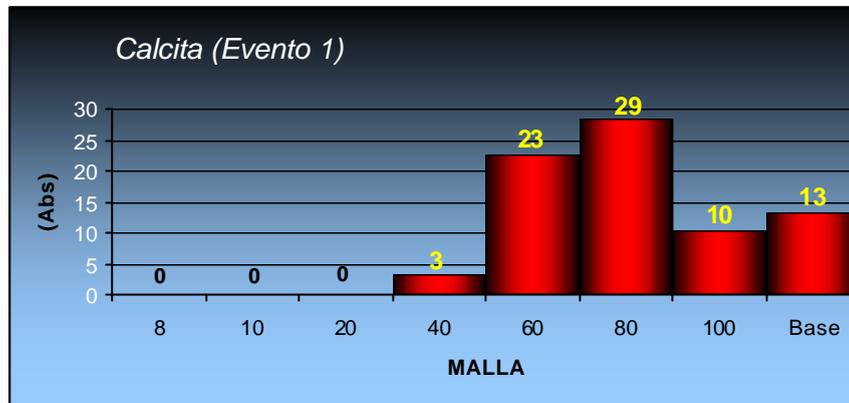
### Distribución Total Evento 3

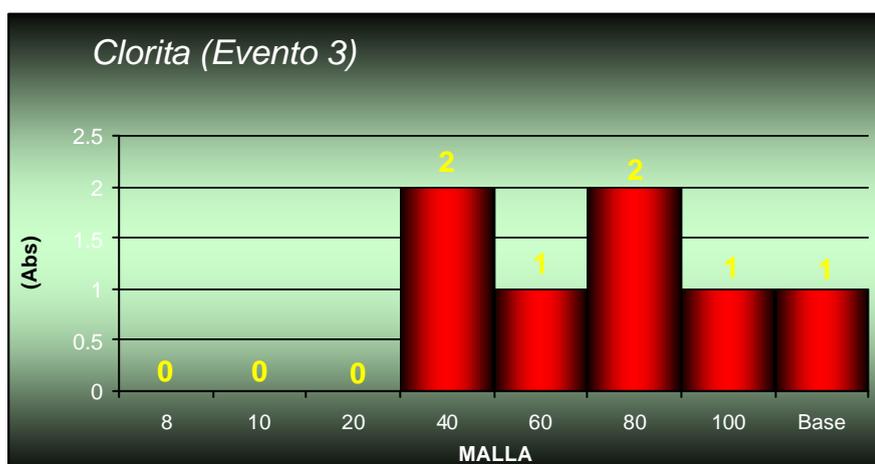
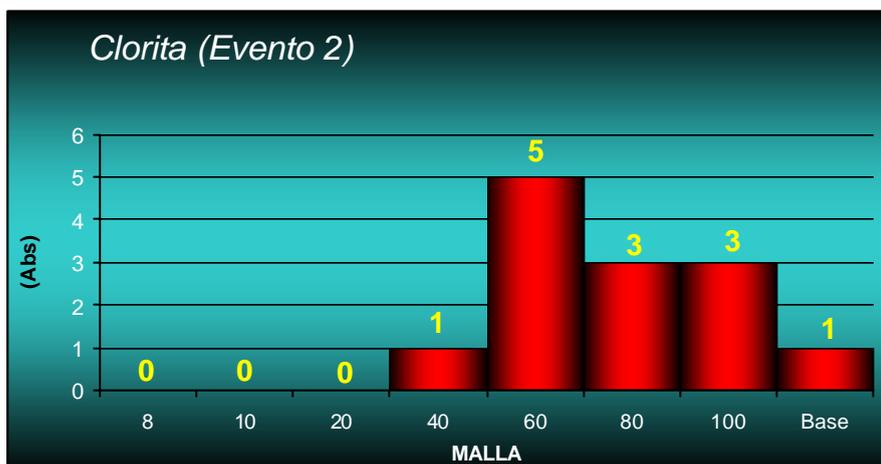
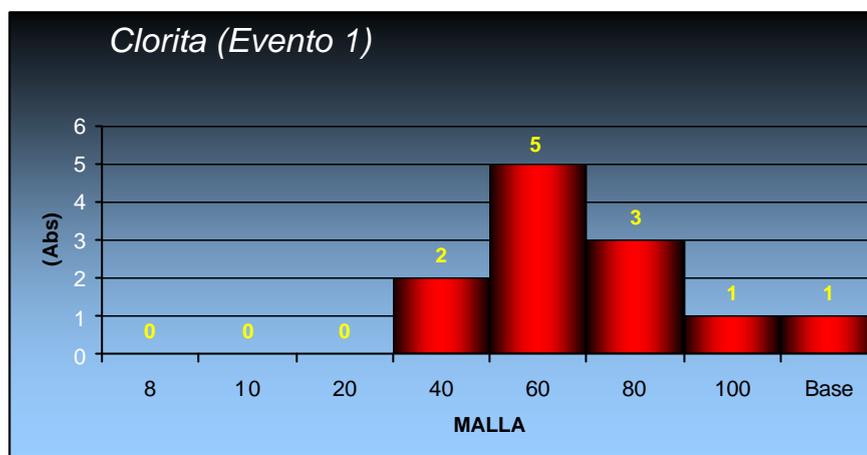


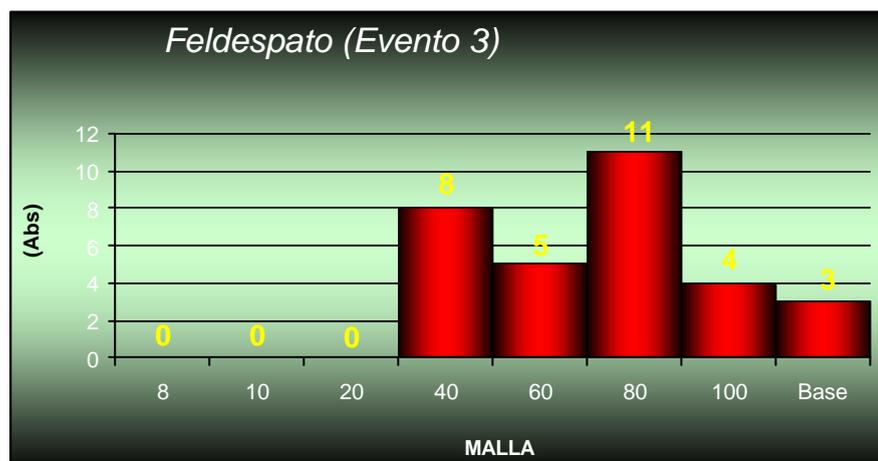
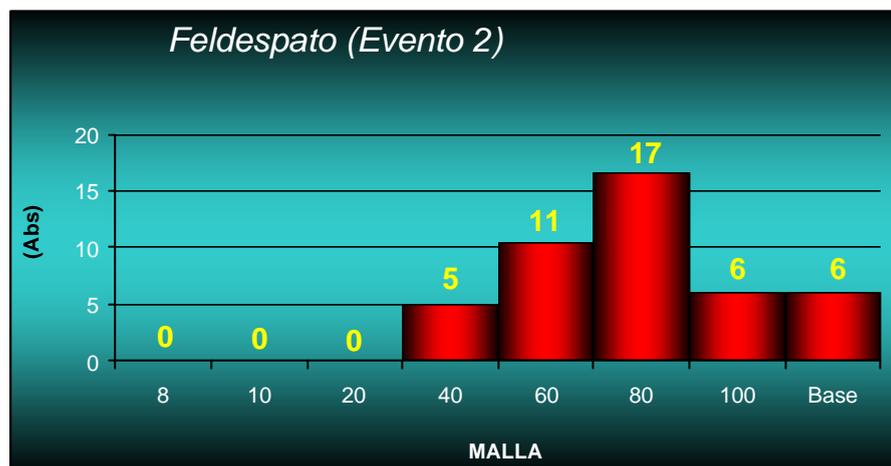
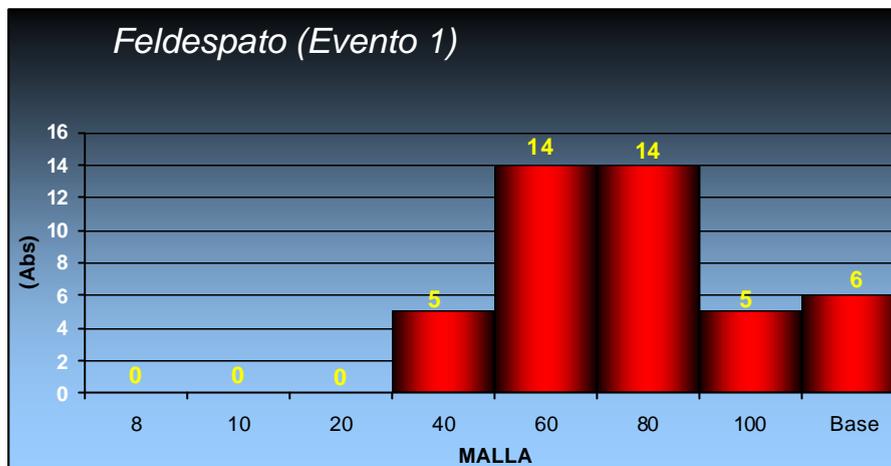
# ANEXO C

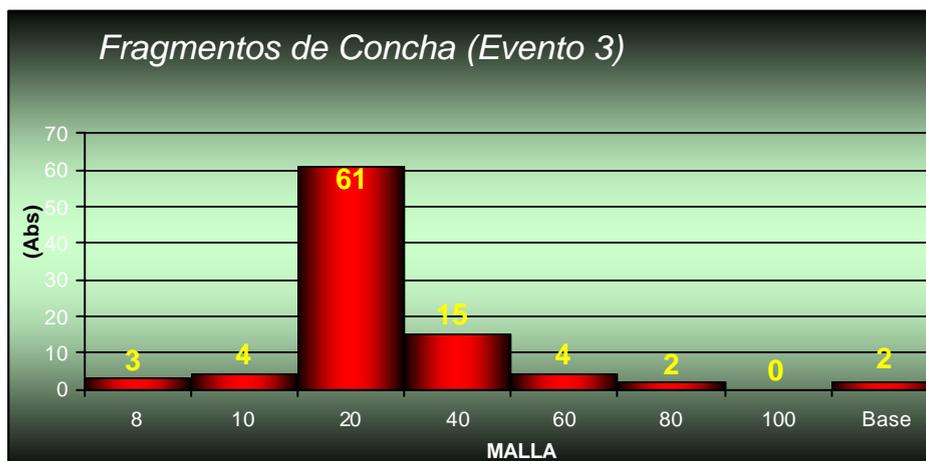
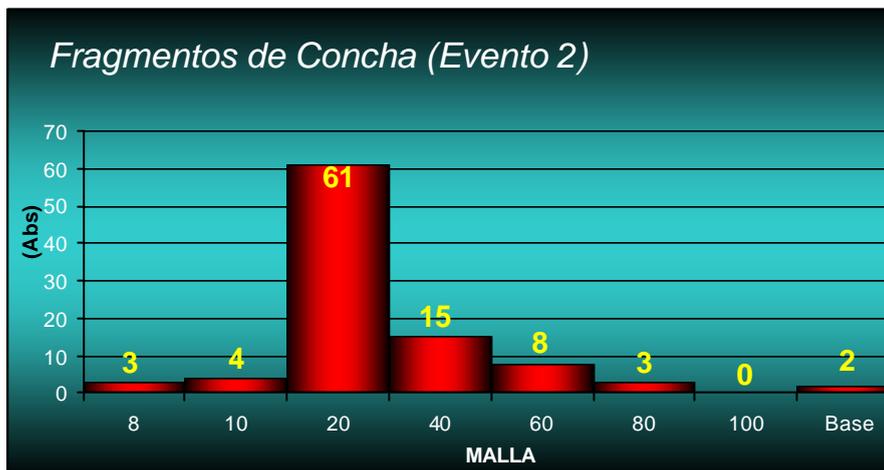
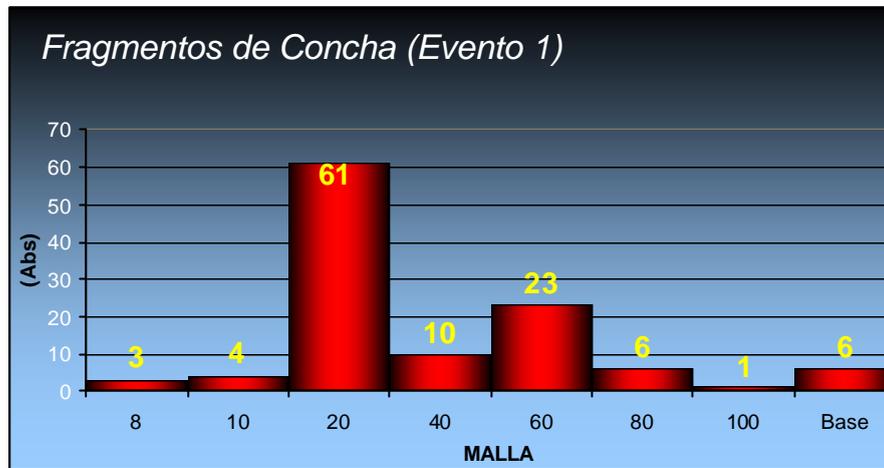
# HISTOGRAMAS

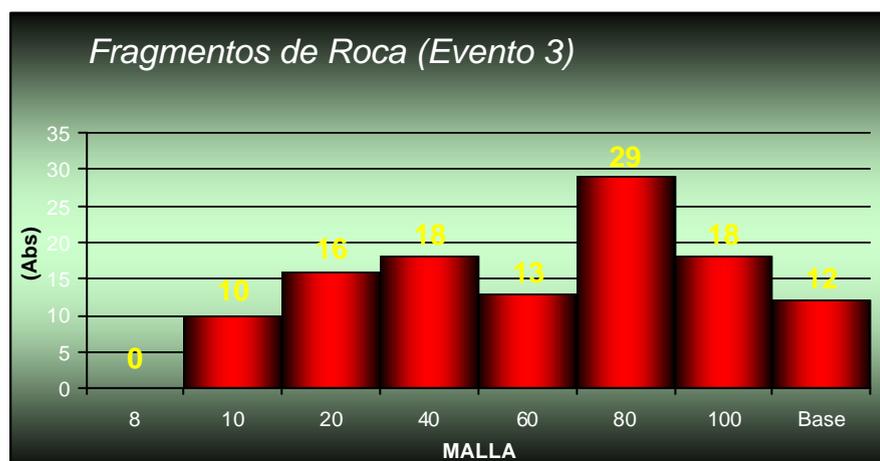
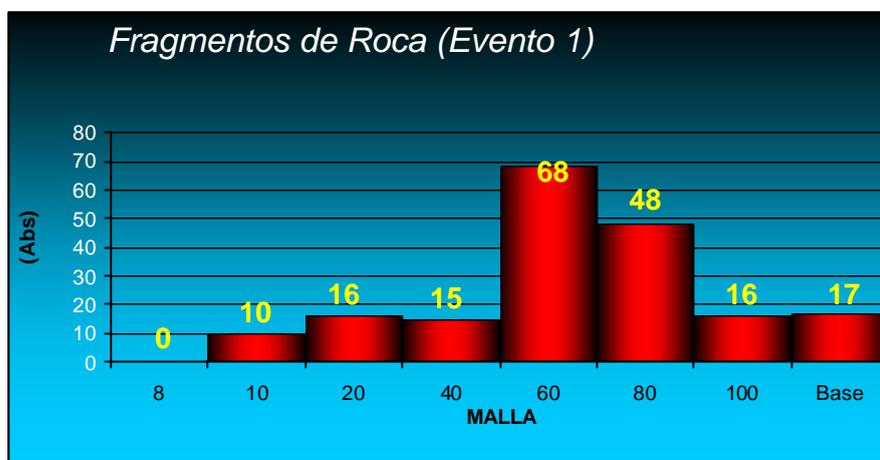
## Histogramas



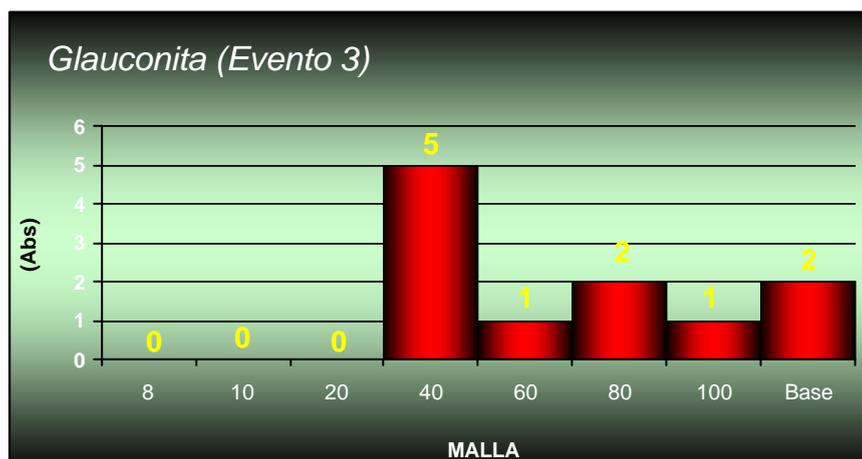
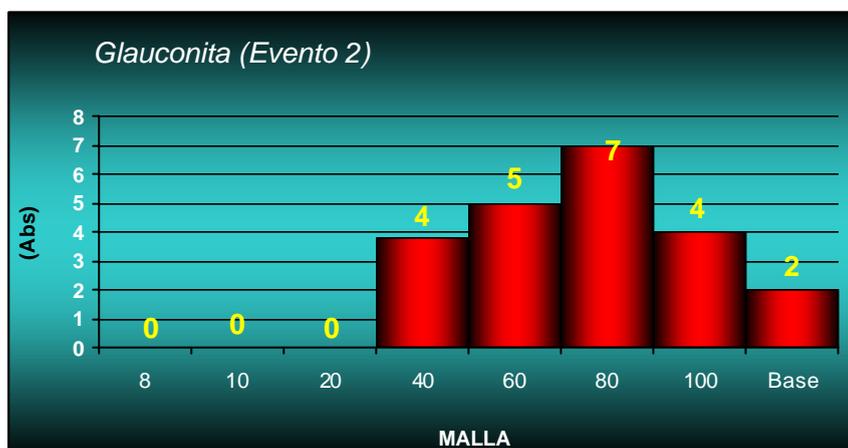
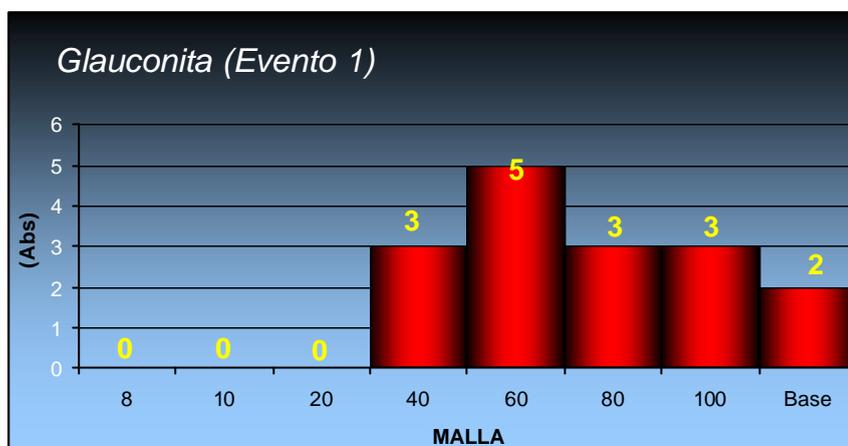


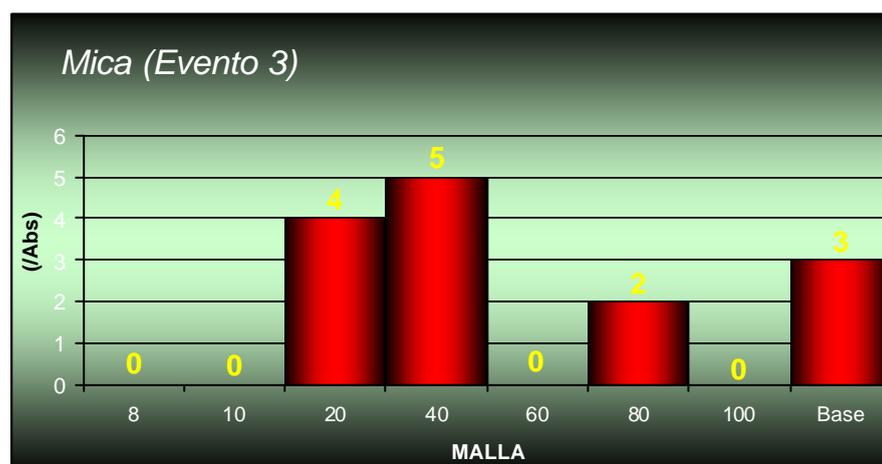


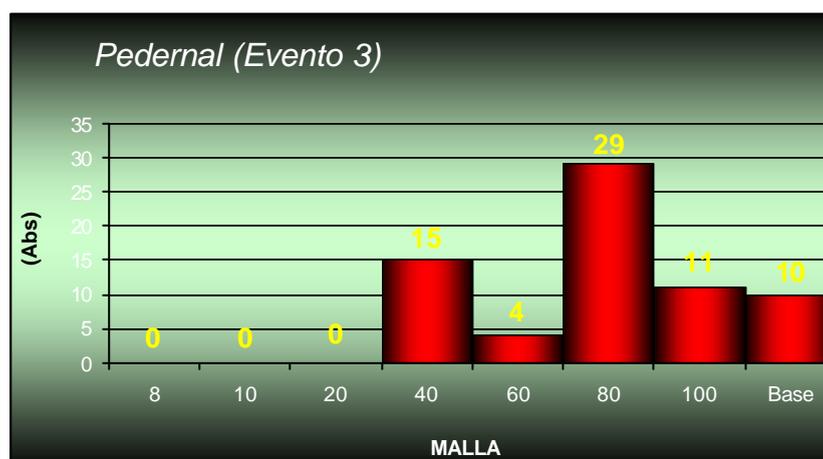
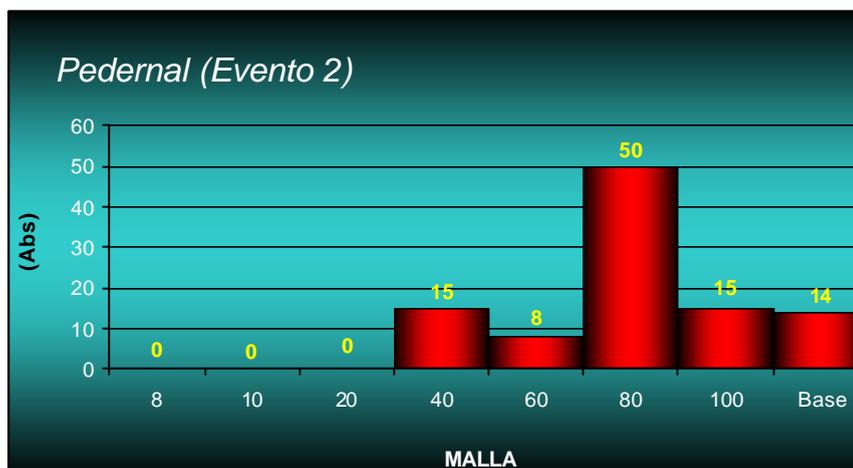
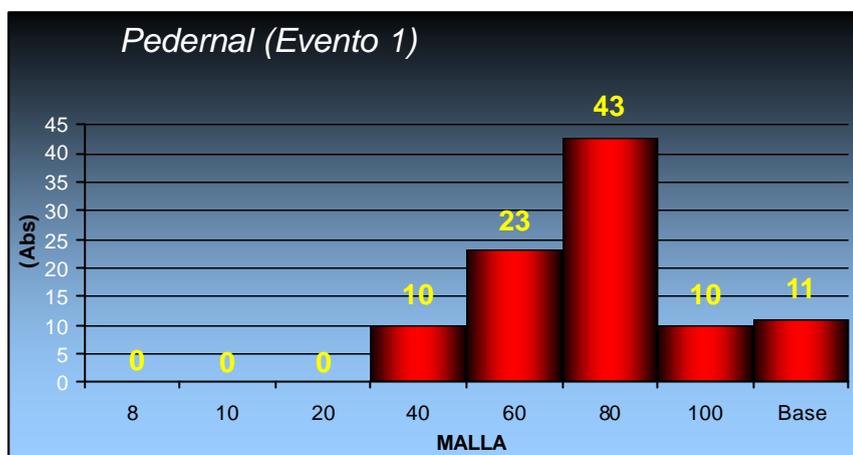


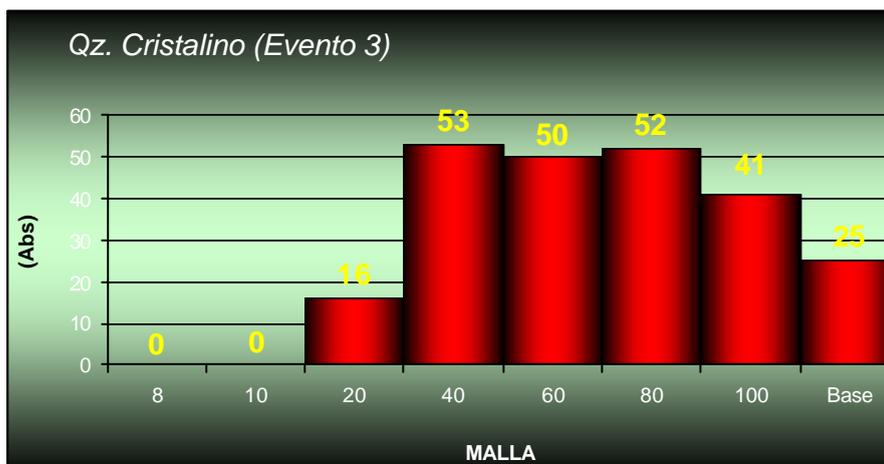
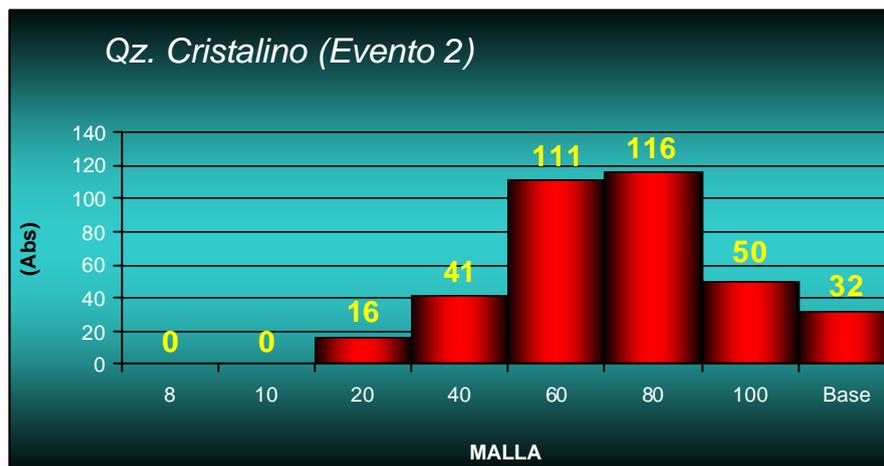
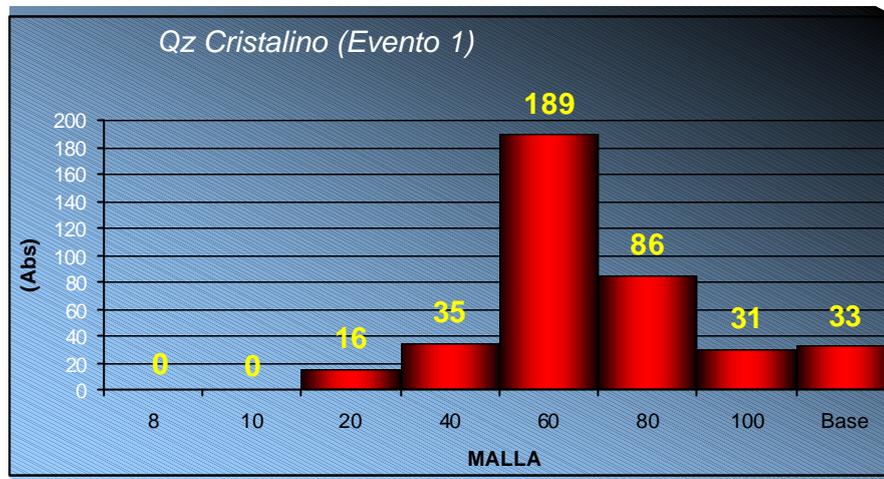


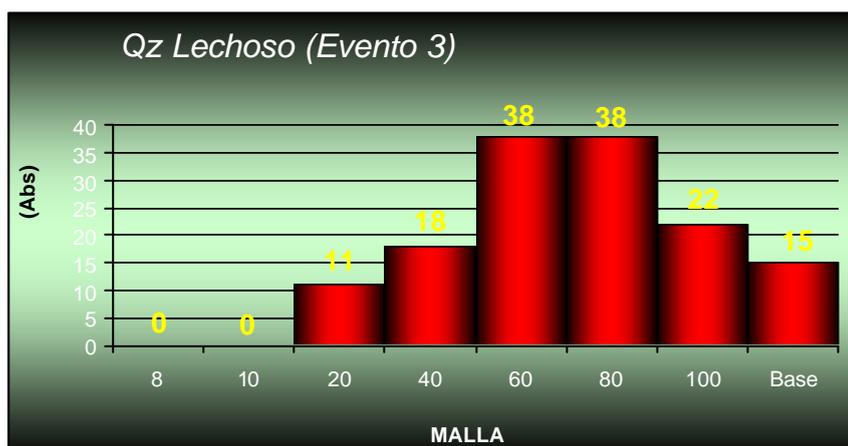
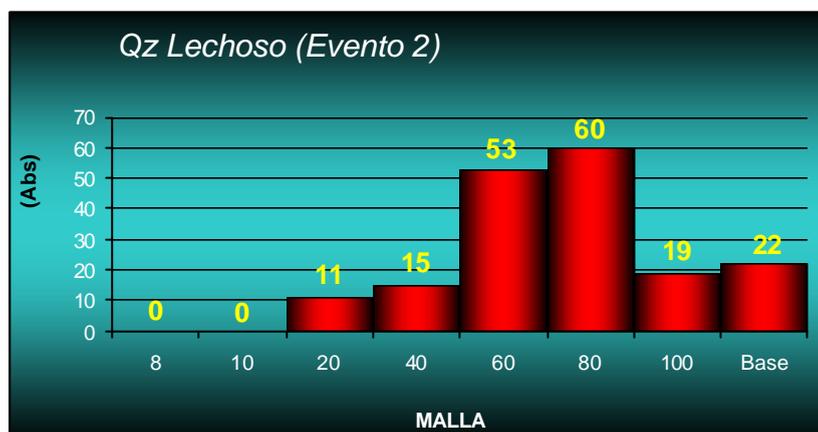
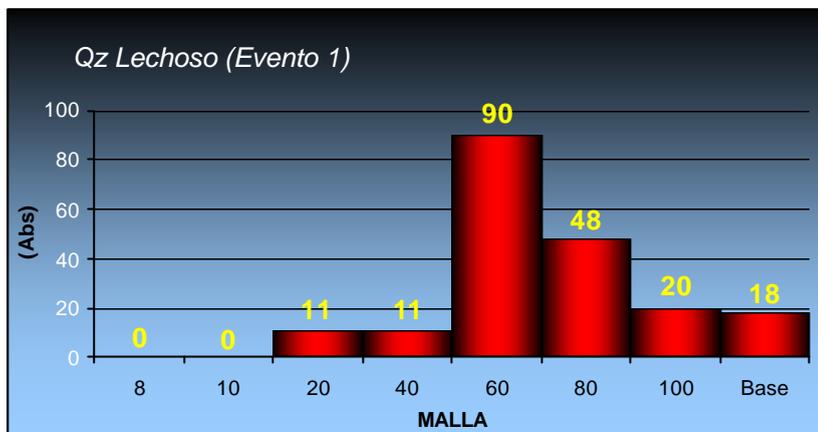


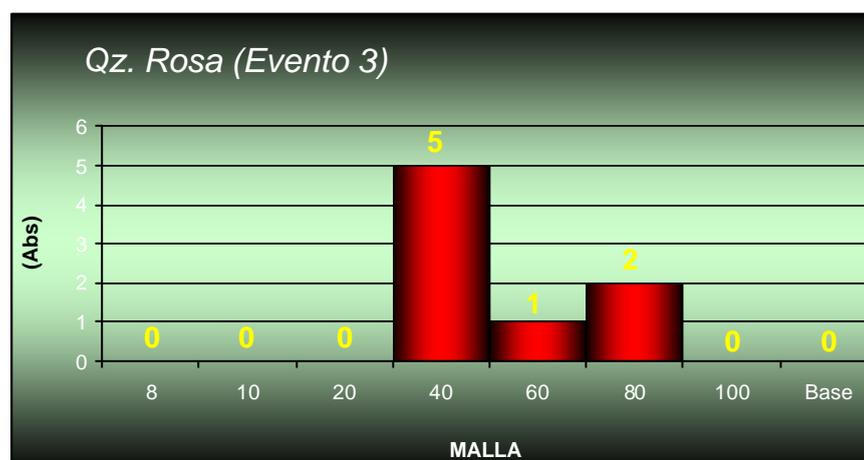
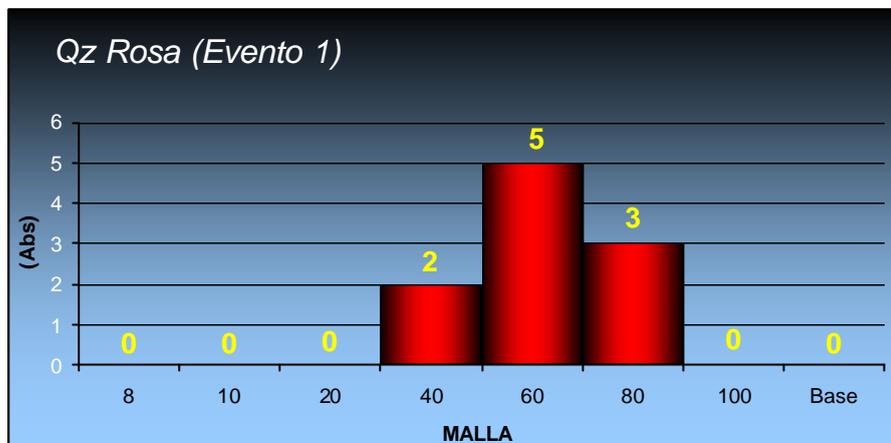








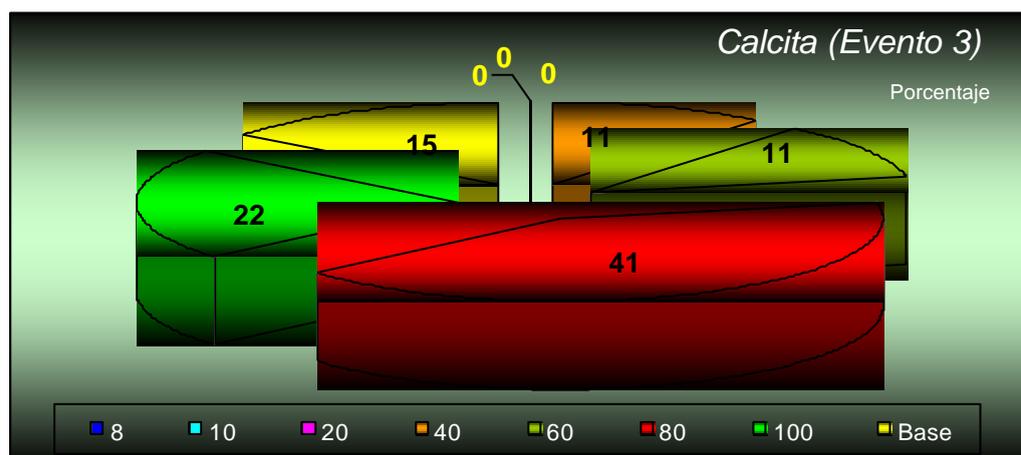
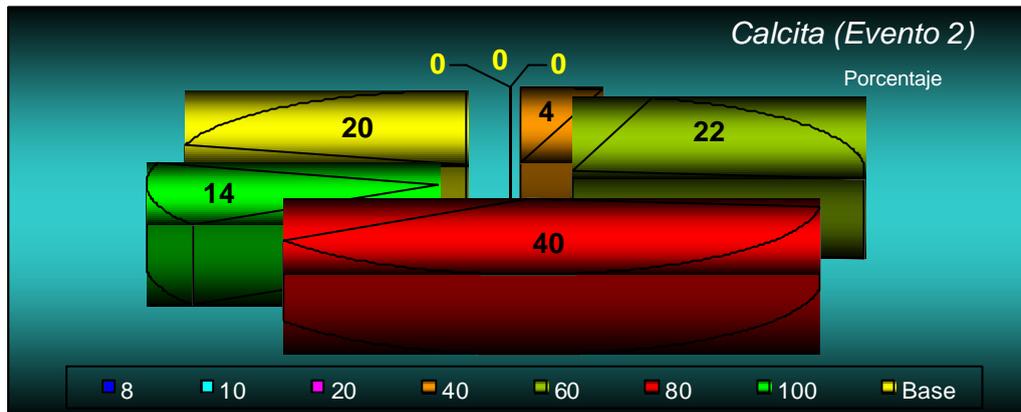
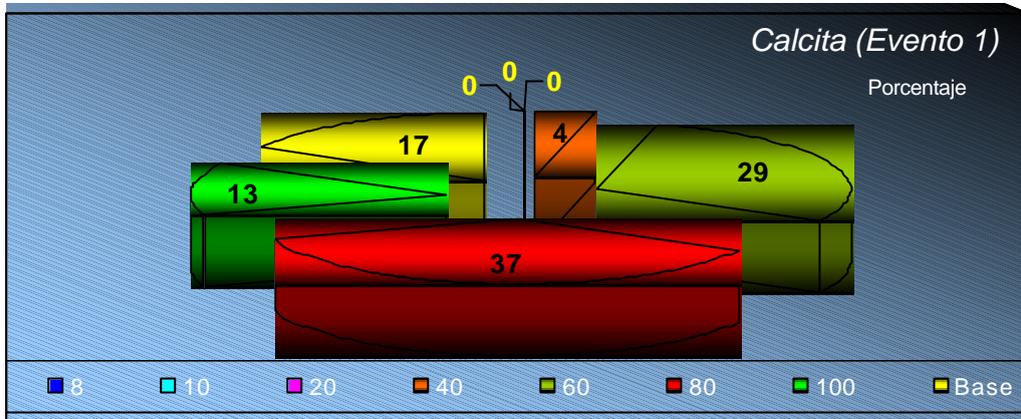


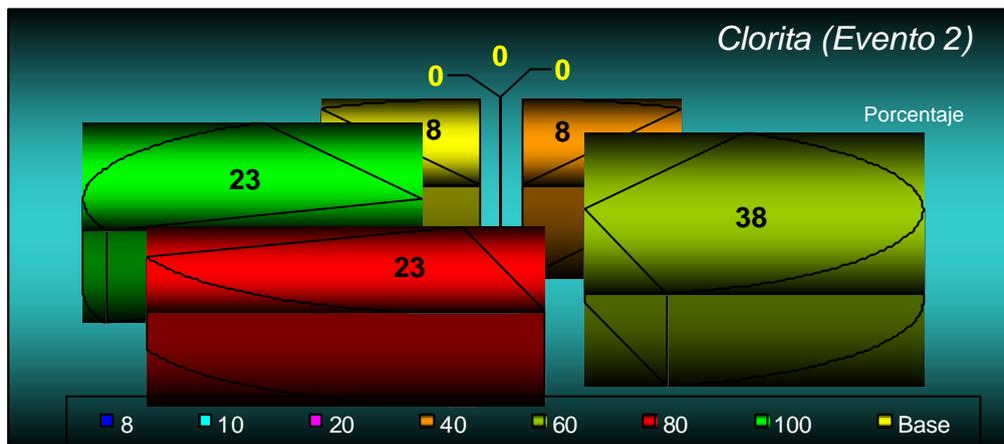
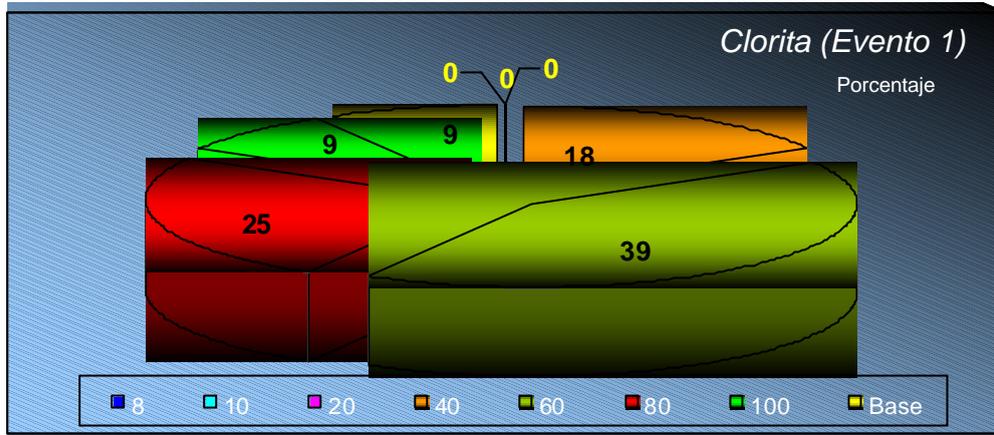


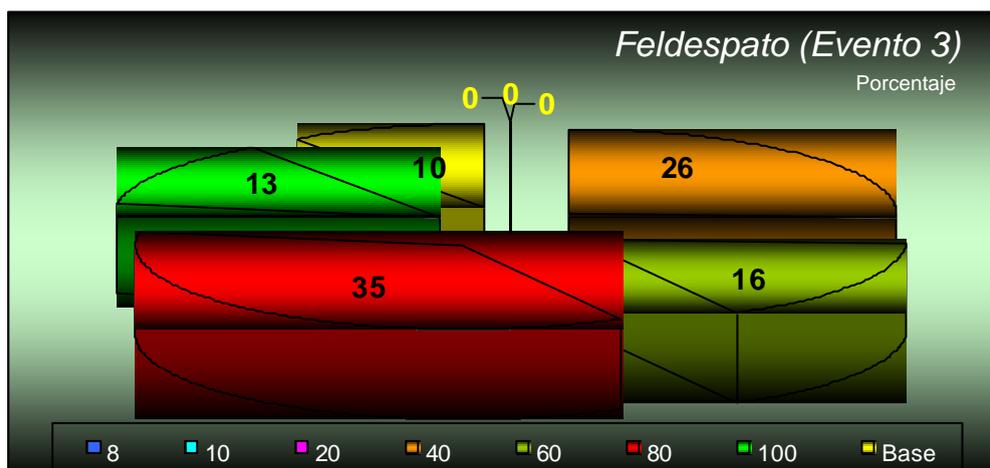
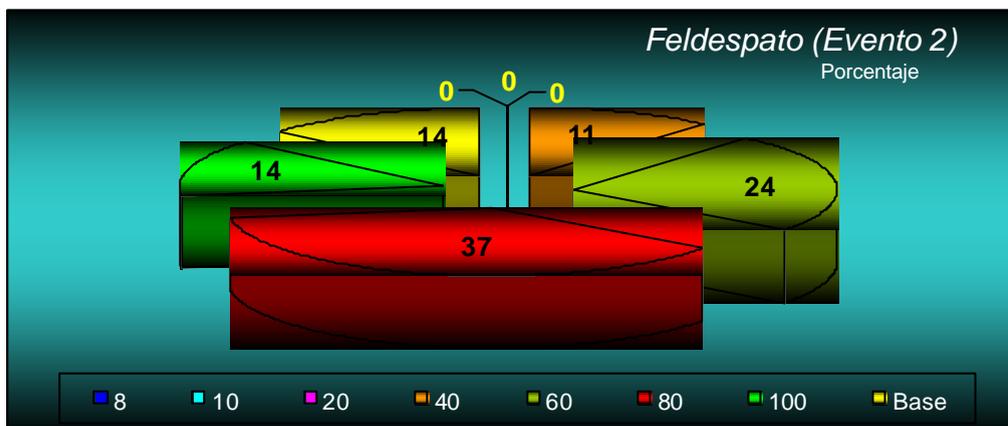
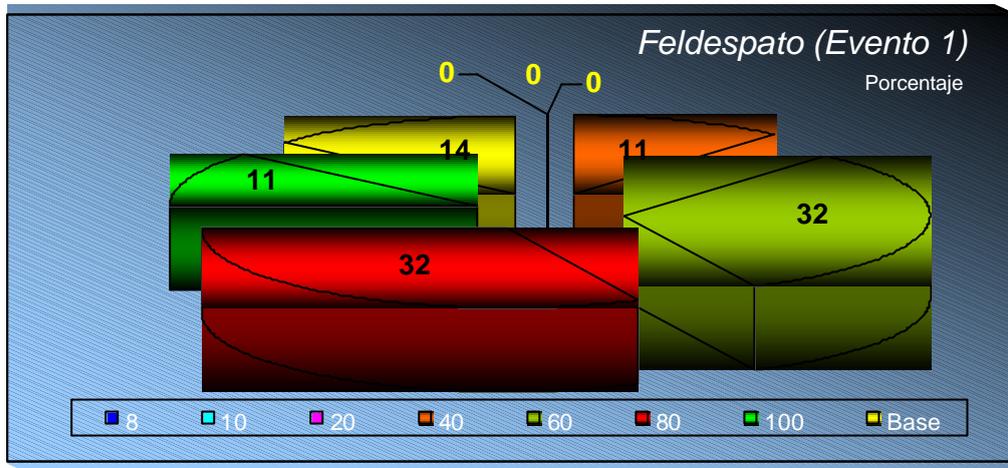
# ANEXO D

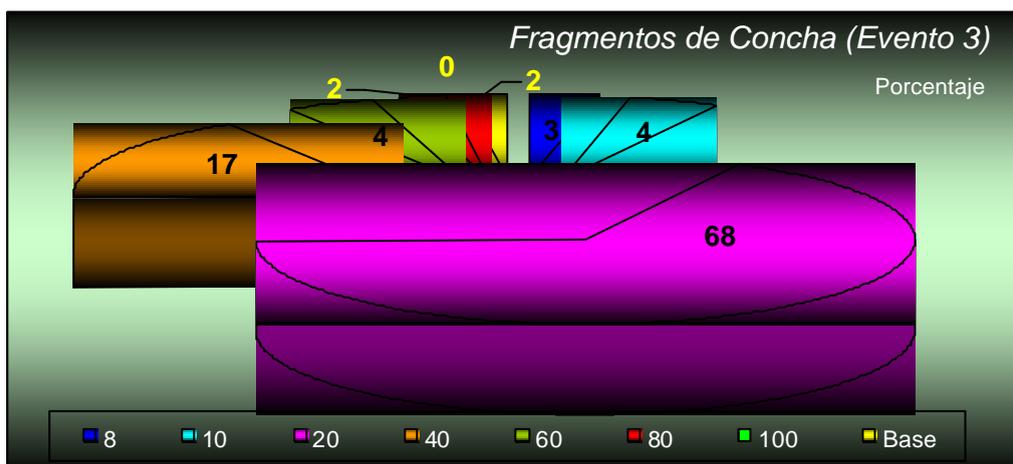
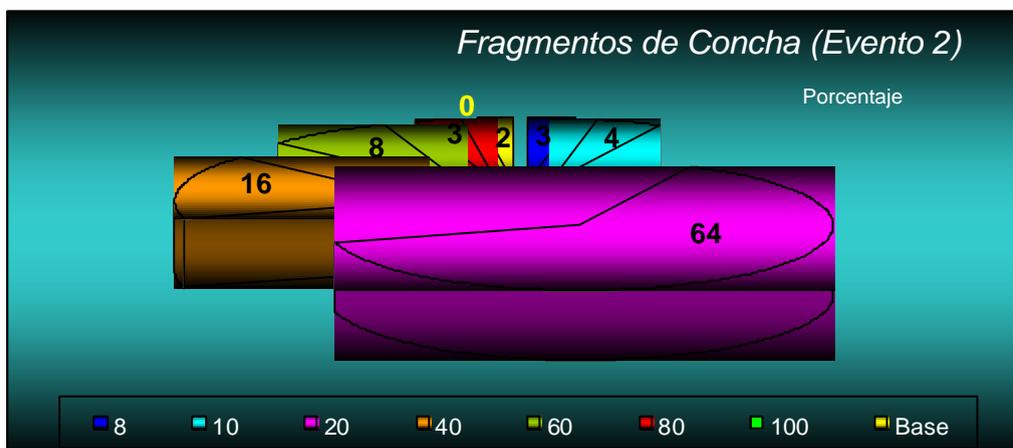
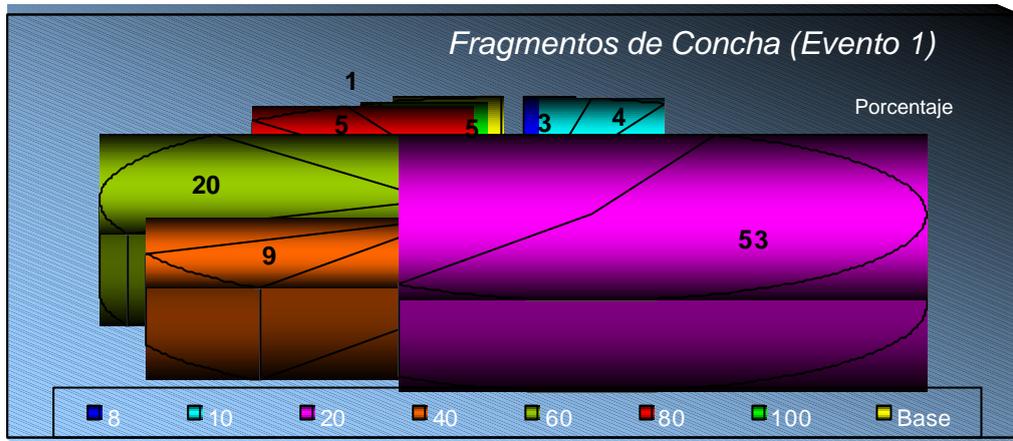
# DIAGRAMAS DE SECTORES

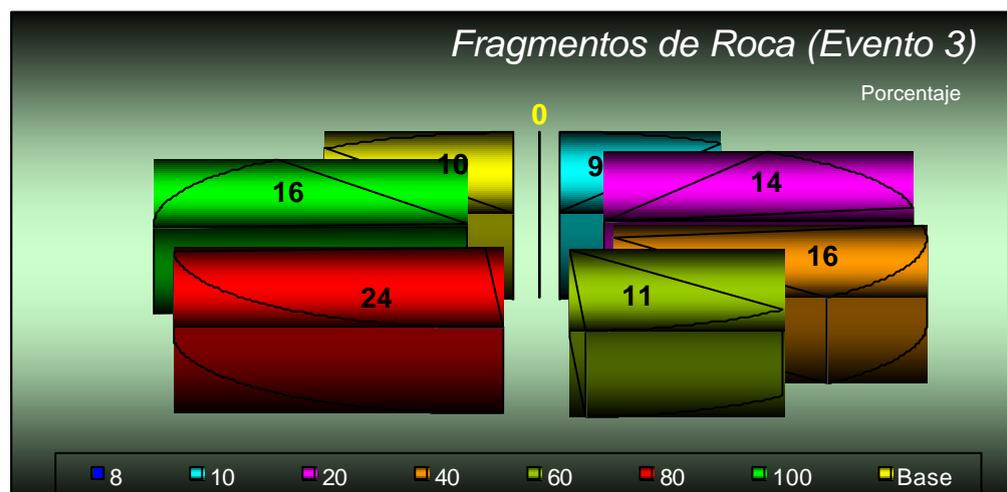
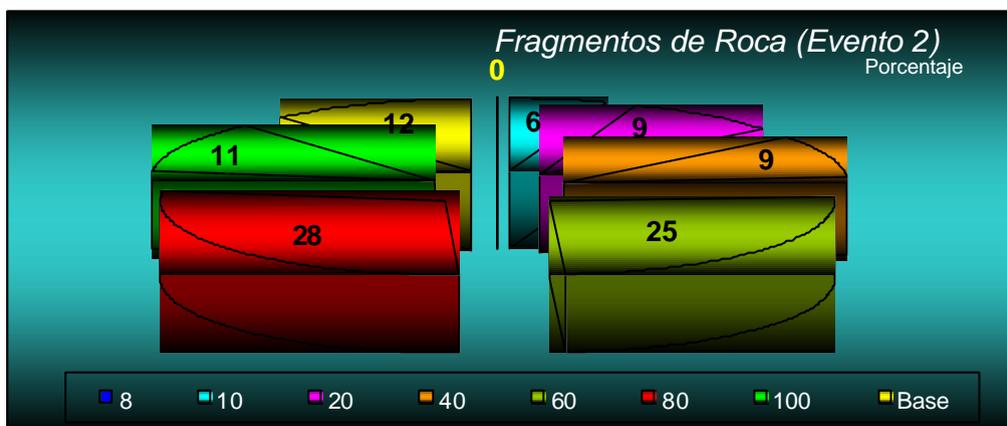
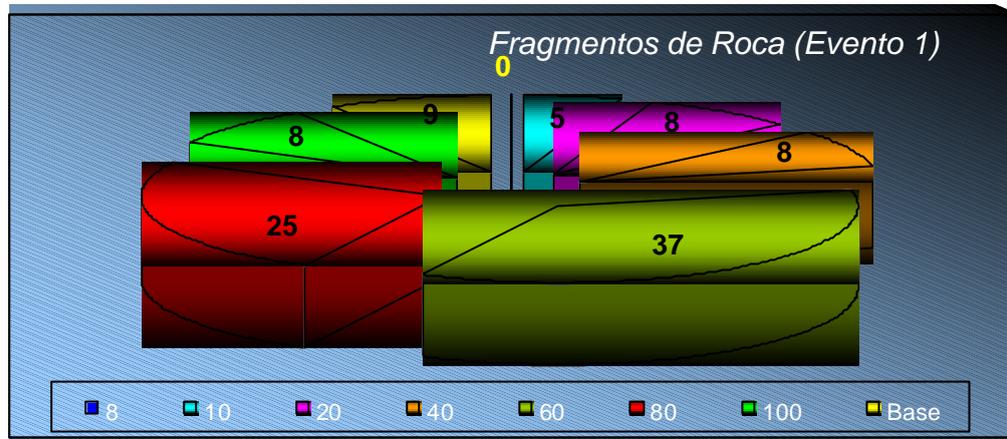
Diagramas de Sectores

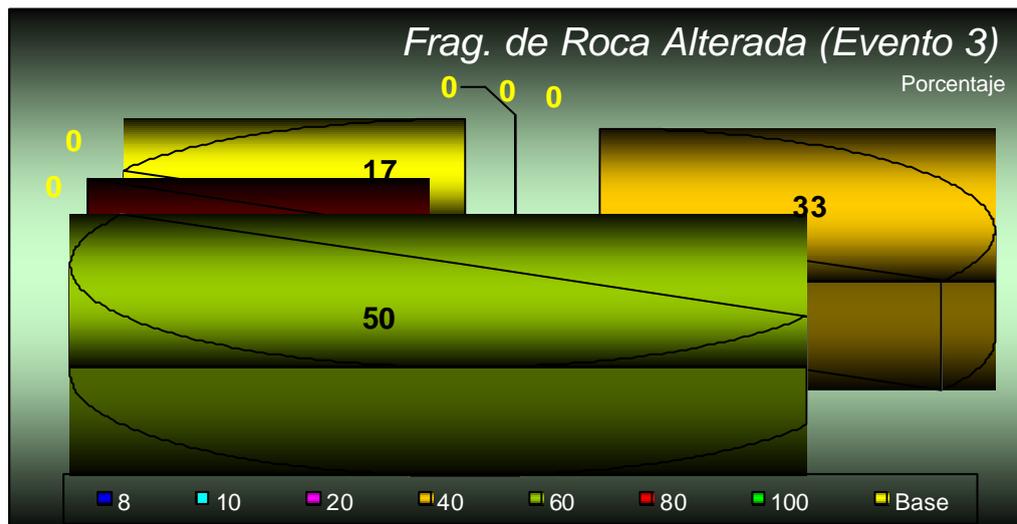
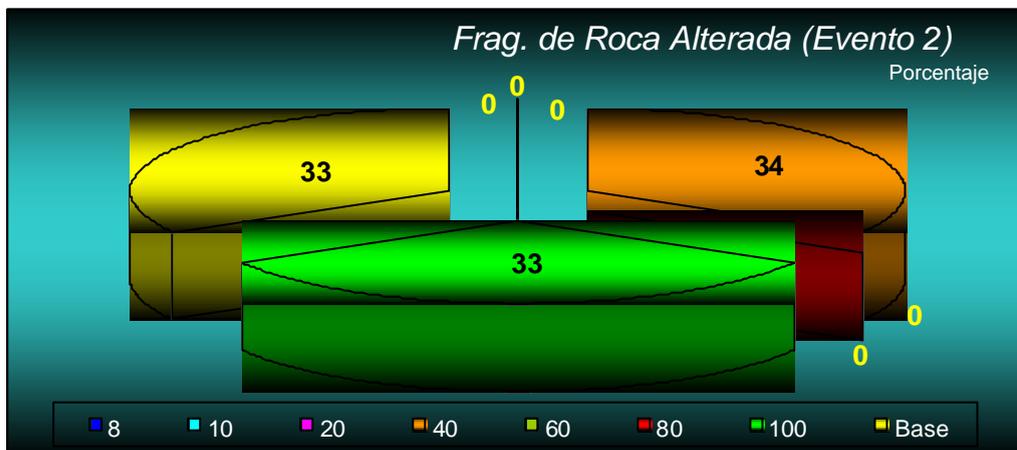
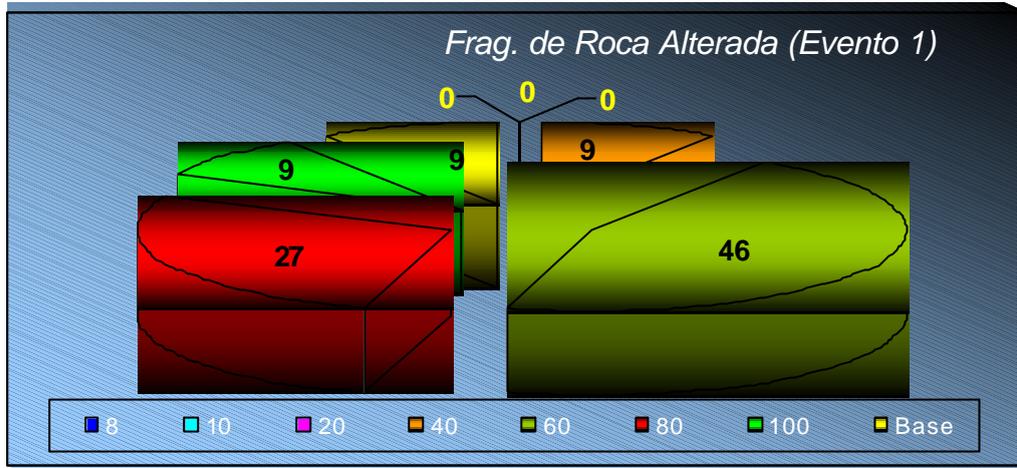


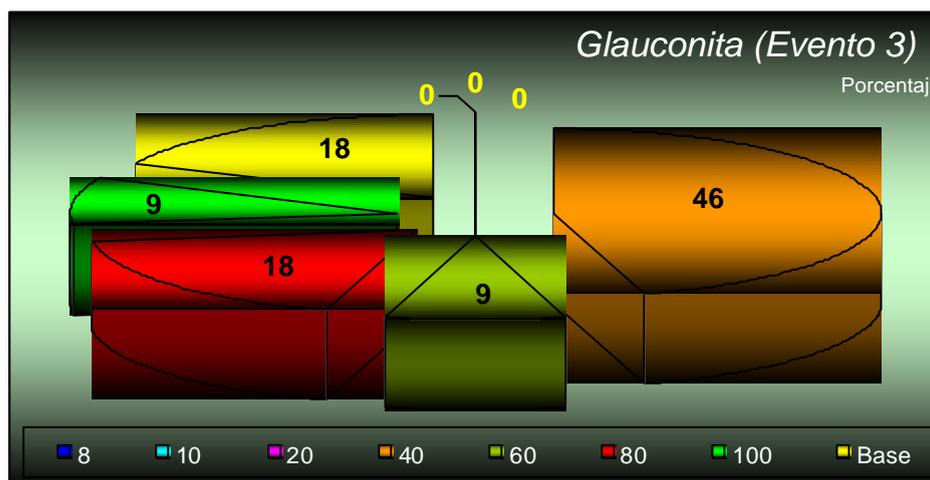
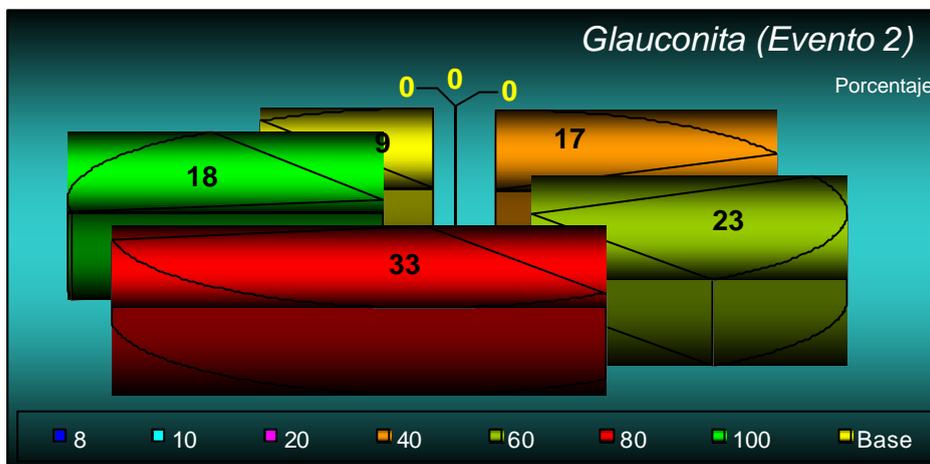
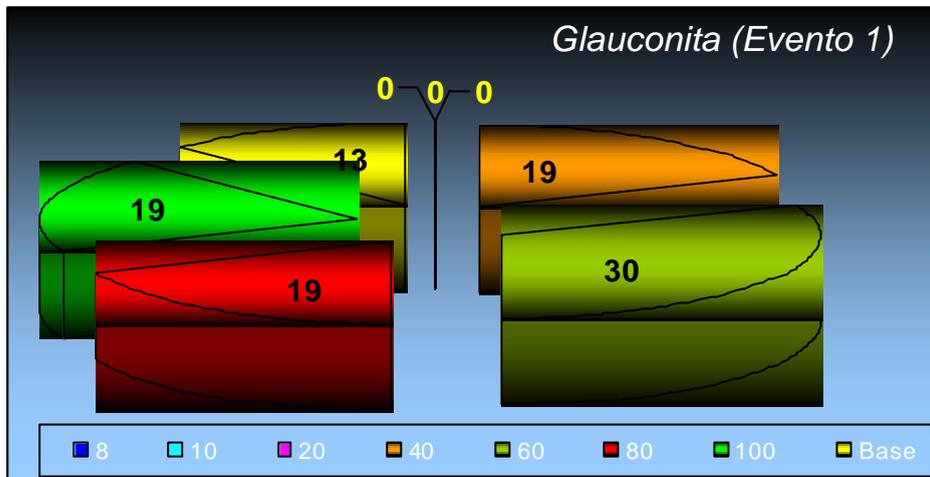


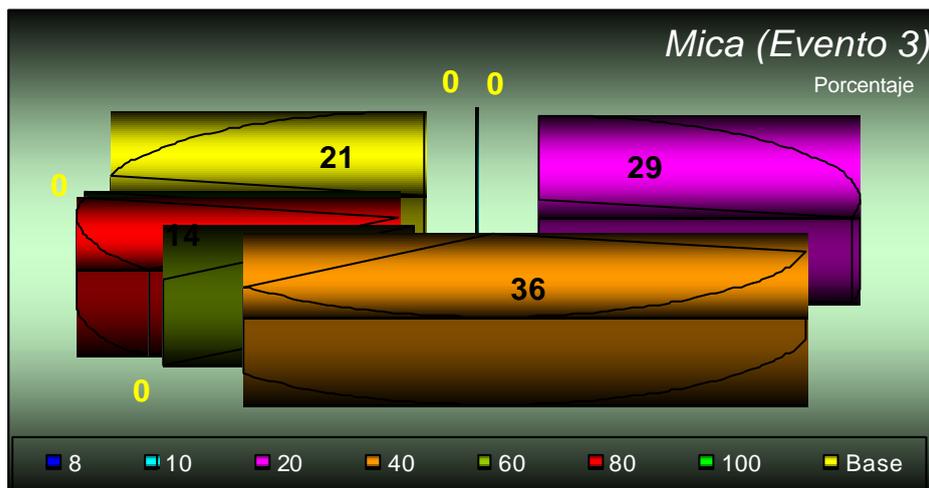
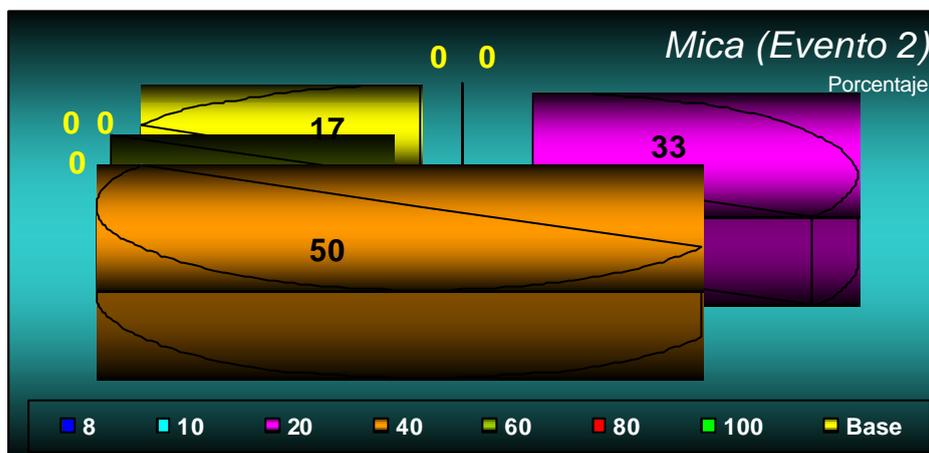
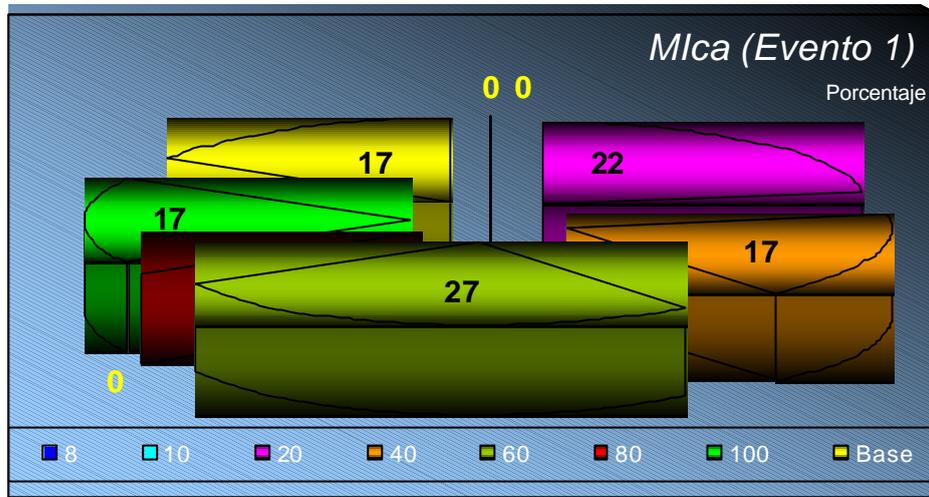


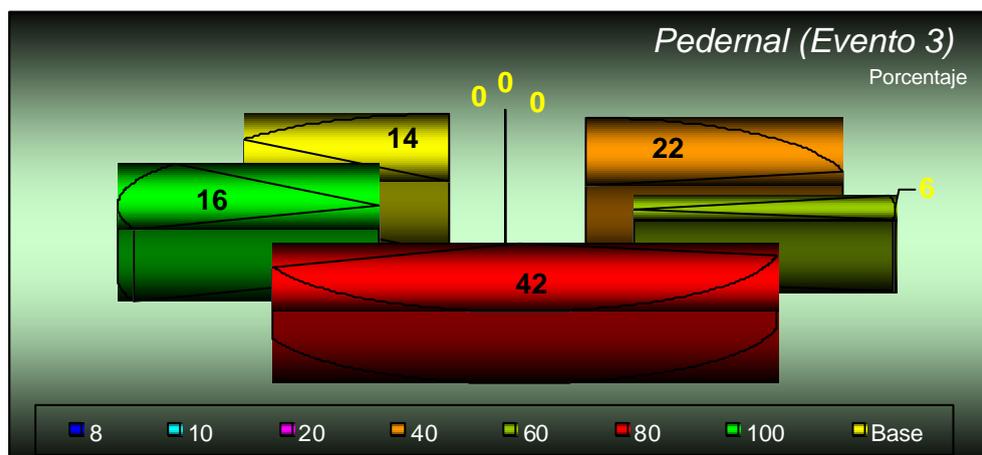
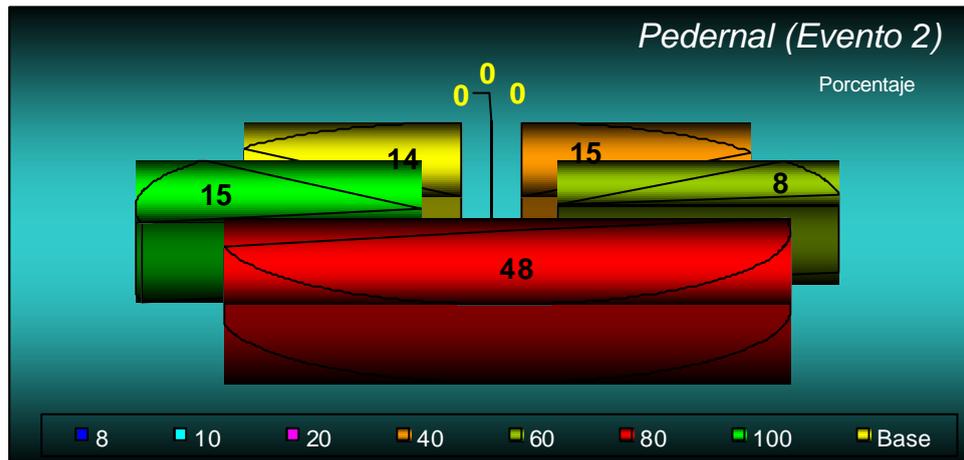
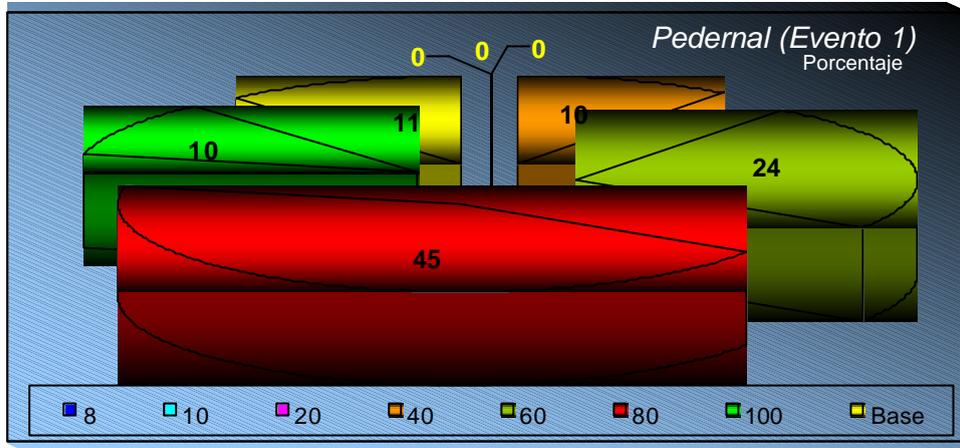


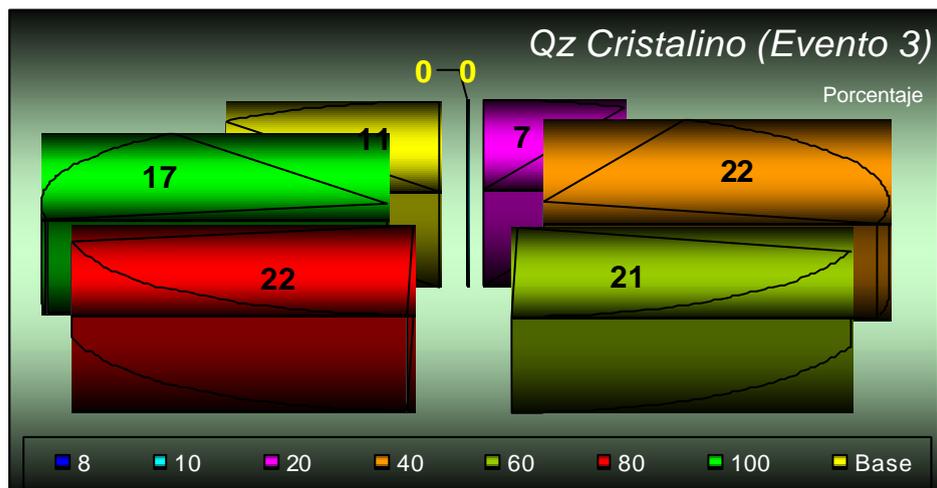
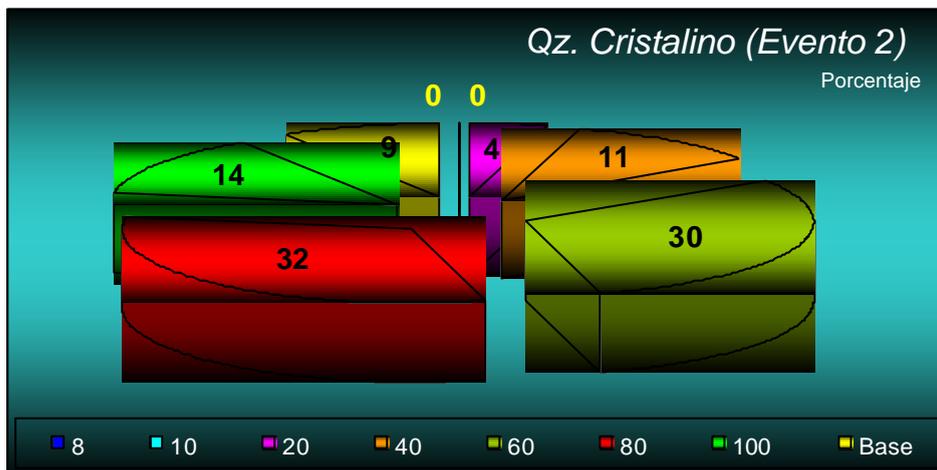
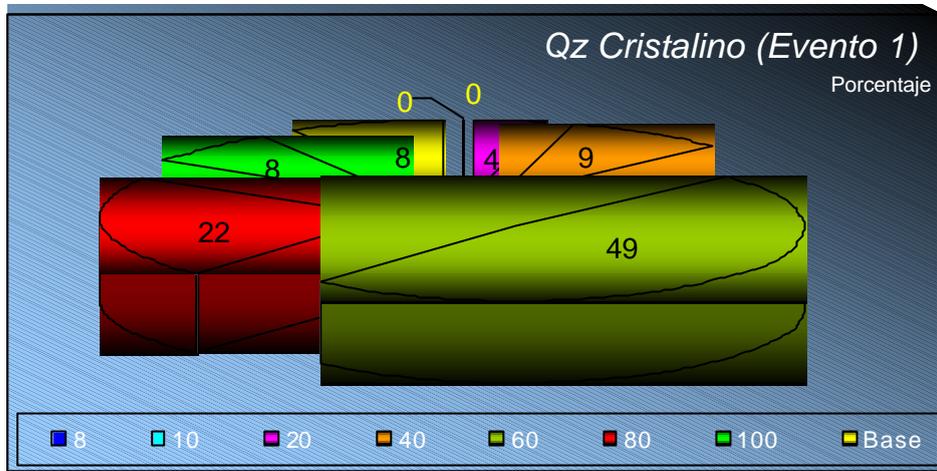


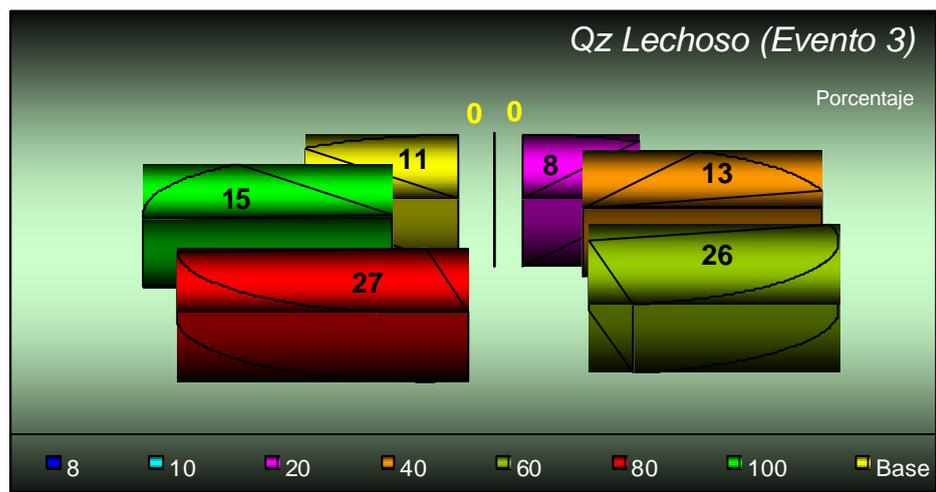
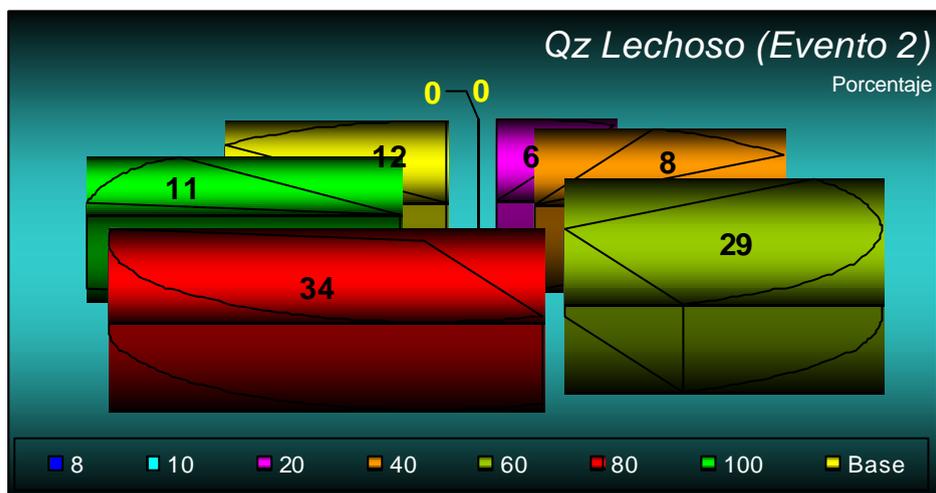
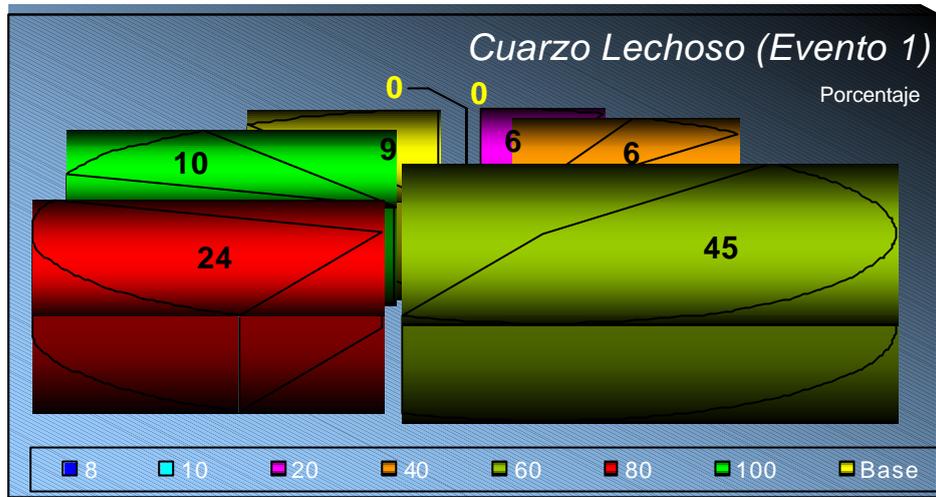


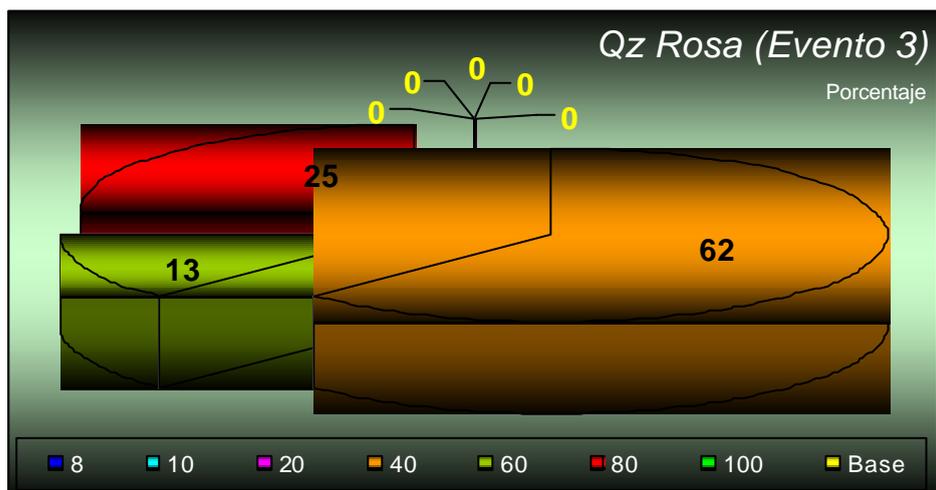
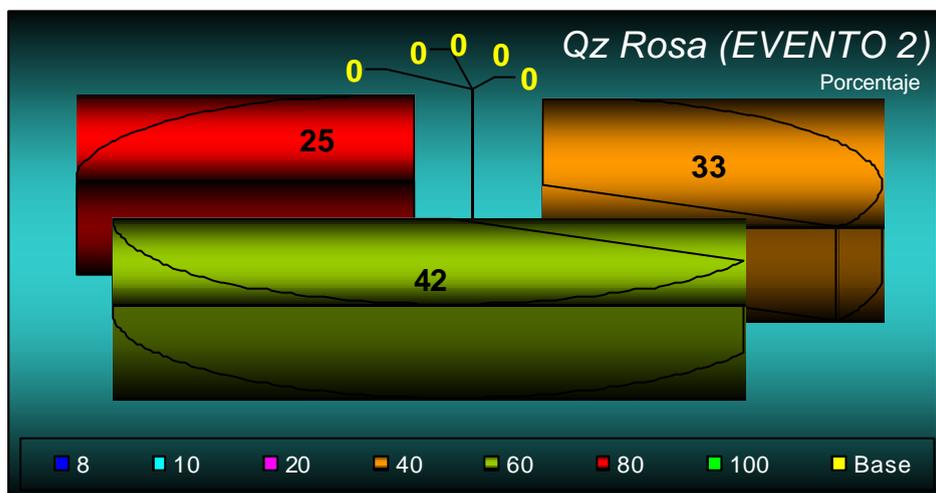
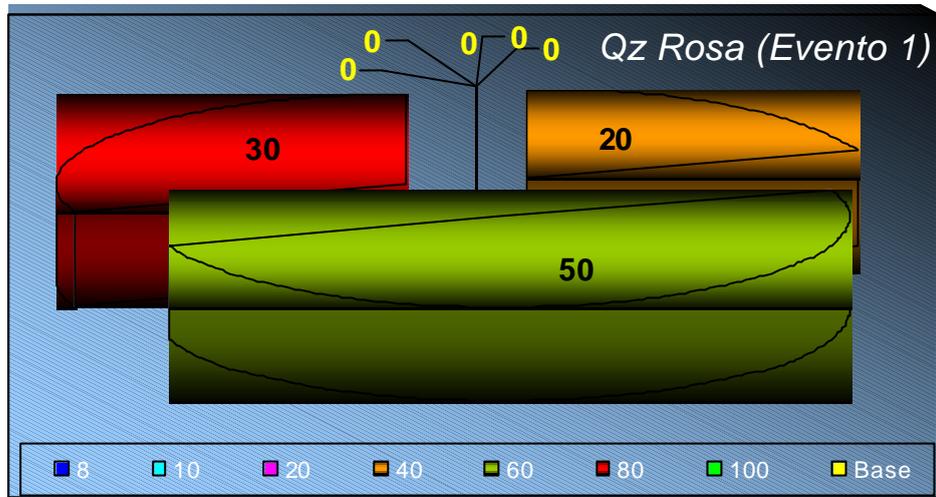












---

**BIBLIOGRAFÍA**

- ✓ **AGUEDA, J. Y ANGUITA, F.** “Geología”, Editorial Rueda, Madrid, 1983.
- ✓ **AMOS, Salvador** “The Gulf of Mexico Basin”, The Geology of North America” Vol. “J” , The Geological Society of America, 1991.
- ✓ **ALVAREZ, Jr. Manuel** “Provincias Fisiográficas de la República Mexicana” Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, A.C. 1961.1 20.24 (2)
- ✓ **BERMÚDEZ MELÉNDEZ, José Ma. Fuster** “Geología” 4ta Edición, Editorial Paraninfo. México, 1994.
- ✓ **BOTELLO, Alfonso V.** “ Variación de los Parámetros Hidrológicos en las Épocas de Sequía y Lluvias (Mayo- Noviembre de 1974) En la laguna de Términos, Campeche, México”, Anales del Centro de Ciencias del Mar y Limnología” ,1977.
- ✓ **BRIGGS, Davis** “Sediments” Editorial Butterworths, 1981.
- ✓ **CANAVOS, G.,** “Probabilidad y Estadística Aplicaciones y Métodos” Editorial Mc Graw Hill, 1984.
- ✓ **CASTRO DORADO, A.,** “Petrografía básica, textura, clasificación y Nomenclatura de Rocas”, Editorial Paraninfo, 1989.
- ✓ **CENTENO, E. Y SÁNCHEZ, J.** “Técnicas y Aplicaciones del estudio de los sedimentos terrígenos de grano fino: Procedencia y tectónica”, Instituto de Geología.

- 
- ✓ **CORRALES, I.**, “Estratigrafía” Edit. Rueda, Madrid (España), 1977.
  - ✓ **CHERNOFF, H.**, “Teoría y cálculo elemental de las decisiones” Compañía Editorial Continental S.A., México 1962
  - ✓ **DAVIS JR, Richard A.** “Depositional Systems and Introduction to Sedimentology and Stratigraphy” Editorial Prentice Hall,1977.
  - ✓ **EMMONS, W.H.**, “Geología: Principios y Procesos”, Editorial Mc. Graw Hill, 1965.
  - ✓ **F.G.H. BLYTH., M.H DE FREITAS** “Geología para Ingenieros” Compañía Editorial Continental, S.A. de C.V., 1989.
  - ✓ **FOLK, Robert L.**, “ Petrología de las Rocas Sedimentarias”, Instituto de Geología, México, D.F., 1969.
  - ✓ **GHENO JUAREZ, M.A.**, “Evaluación del Sistema Petrolífero de la parte Oriental de los Campos Ek-Balam, Takin” Tesis de Maestria, UNAM 2001.
  - ✓ **GUTIERREZ ESTRADA, AYALA CASTAÑARES** “Morfología y Sedimentos Superficiales de la Plataforma Continental Frente a Tabasco y Campeche, México” Anales del Centro de Ciencias del Mar y Limnología, 1990
  - ✓ **HOLMES, A.** “Geología Física” Ediciones Omega, México ,1965.
  - ✓ **HUANG, Walter T.**, “Petrología”, Unión Tipográfica Editorial Hispano-Americana S.A. de C.V., México, D.F., 1981.

- 
- ✓ **KRUMBEIN & SLOSS** “Stratigraphy and Sedimentation” Editorial W.H. Freeman and Company, 1963.
  - ✓ **LARSEN, G.** “Development in Sedimentology”, Editorial Elsevier, 1983.
  - ✓ **LONGWELL** Chester R. y **FLINT** Richard F. “Geología Física” Editorial Limusa, México 1979.
  - ✓ **LÓPEZ RAMOS,** “Geología Histórica de México”, Editorial Trillas, México 2001.
  - ✓ **MALPICA CRUZ,** V.M. “Apuntes del curso de Sedimentología”, Inéditos, Facultad de Ingeniería, UNAM. 2001.
  - ✓ **MANCILLA PERAZA M. y VARGAS FLORES M.,** “Los Primeros Estudios Sobre la Circulación y el Flujo neto del Agua a Través de la Laguna de Términos, Campeche” Anales del Centro de Ciencias del Mar y Limnología, 1978.
  - ✓ **MENDENHALL, W. y WACKERLY,** Denis D. “Estadística Matemática con Aplicaciones” Grupo editorial Iberoamericana, 1999.
  - ✓ **MENESES DE GYVES,** Javier “Geología de la Sonda de Campeche” Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros. 1980. 32 (1) 1-26.
  - ✓ **MIGUEL PÉREZ, F.** “Estudios de Procedencia de las Rocas Clásticas Cenozoicas en la franja Tecolutla-Barra de Sta. Ana, Edo. de Veracruz”, Tesis de Licenciatura, UNAM 2003.

- 
- ✓ **MILNER**, Henry B. "Sedimentary Petrography", Editorial The Macmillan Company, 1962.
  - ✓ **MOORE**, David S. "Estadística Aplicada básica" Editorial Antoni-Bosch Editor S.A. España 1995.
  - ✓ **ORTIZ ASSIAIN**, R. "Introducción al estudio sobre la Nomenclatura de las Rocas Sedimentarias" Tomo II, Publicación No. 68, Instituto Mexicano del Petróleo, 1968.
  - ✓ **PARSEN**, Emanuel "Teoría moderna de probabilidades y sus aplicaciones" Editorial Limusa, México 1987.
  - ✓ **PETTIJOHN**, F. J. "Sedimentary Rocks" Editorial Harper & Row Publishers, 1975.
  - ✓ **RAYMOND**, Loren A. " Petrology Sedimentary" Wm. C. Brown Publishers, 1995.
  - ✓ **REINECK**, H.E. "Depositional Sedimentary Enviroments" Editorial Berlin Heidelberg New York, 1986.
  - ✓ **VALLE GONZALEZ**, V. "Notas sobre procedimientos para identificar el origen de cuerpos arenosos", Instituto Mexicano del Petróleo, Subdirección de Tecnología de Explotación, 1976.
  - ✓ **VERA OCAMPO**, M., "Apuntes de Petrología Sedimentaria", Inéditos, Facultad de Ingeniería, UNAM 2002.
  - ✓ **VINIEGRA OSORIO**, F., "Geología Histórica de México", 1992.

- ✓ **WEIMER**, Richard C. “Estadística” Compañía editorial Continental S.A. de C.V., México 1999.
- ✓ **WILLIAM H.**, Emmons y George A., **THIELL** “Geología, Principios y Procesos” Editorial Mc Graw Hill, 1963.
- ✓ **YÁNEZ CORREA**, Amado “Procesos Costeros y Sedimentos Recientes de la Plataforma Continental al Sur de la Bahía de Campeche, México” Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, A. C. 1971.75 – 116.32 (2)
- ✓ **ZUFFA, G.G.**, “Provenance of Arenites” , Editorial D. Reidel Publishing Company, USA 1984.

**Páginas Web Consultadas:**

[http://www.fagro.edu.uy/geologia/web/Mat\\_Apo/RyM/rym-5.htm](http://www.fagro.edu.uy/geologia/web/Mat_Apo/RyM/rym-5.htm)

<http://www.geologia.uson.mx/academicos/amontijo/elemtext.htm>

<http://www.cec.uchile.cl/~geologia/cursos/GL31A/auxiliar/sedimentarias.html>

<http://ice.d5.ub.es/conferencias/Particulas2.htm>

<http://biblioteca.ucv.cl/poseidon/libros/libro1/106.html>

<http://geologia.igeolcu.unam.mx/academia/Temas/Procedencia/Procedencia.htmlh>

<http://procesos.netfirms.com/pu2/node11.html>