

**CENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y DE EDUCACIÓN
SUPERIOR DE ENSENADA, BAJA CALIFORNIA**



**PROGRAMA DE POSGRADO EN CIENCIAS
EN ECOLOGIA MARINA**

**UN MODELO GEOESTADISTICO PARA EVALUAR LA
INTERACCION ENTRE TORTUGA MARINA Y LAS
PESQUERIAS ARTESANALES FRENTE A LAS PLAYAS DE
ANIDACION EN GUERRERO Y OAXACA, MEXICO.**

Tesis

para cubrir parcialmente los requisitos necesarios para obtener el grado de
Maestro en Ciencias

Presenta:

Juan Manuel Galaviz López

Ensenada, Baja California, México
2014.

Tesis defendida por
Juan Manuel Galaviz López

y aprobada por el siguiente Comité

Dra. Ma. Elena Solana Arrellano
Director del Comité

Dr. David Alberto Rivas Camargo
Miembro del Comité

Dr. Luis Eduardo Calderón Aguilera
Miembro del Comité

Dr. Javier Helenes Escamilla

Miembro del Comité

M.C. Carlos Eduardo Cabrera
Ramos

Miembro del Comité

Dr. David Alberto Rivas Camargo

Coordinador del Posgrado en
Ecología Marina

Dr. Jesús Favela Vara

Director de la
Dirección de Estudios de Posgrado

Noviembre de 2014

Resumen de la tesis que presenta Juan Manuel Galaviz López como requisito parcial para la obtención del grado de Maestro en Ciencias en Ecología Marina.

Un modelo geoestadístico para evaluar la interacción entre tortuga marina y las pesquerías artesanales frente a las playas de anidación en Guerrero y Oaxaca, México.

Resumen elaborado por:

Juan Manuel Galaviz López

La drástica disminución en las poblaciones de las diversas especies de tortuga marina en la última década, ha ocasionado que todas ellas se encuentren dentro de los estatutos de protección y conservación a nivel nacional e internacional, la información en referencia a las zonas que utilizan en el tiempo de inter-anidación y las interacciones con la pesca ribereña a nivel regional todavía no se encuentran completamente descritos, lo cual dificulta el poder diseñar, implementar y evaluar las estrategias de conservación de tortugas marinas.

En este trabajo se realizó la determinación de regiones geográficas constituidas por zonas de pesca en términos de: 1) la abundancia de especies comerciales, 2) el avistamiento de especies de tortuga Laúd (*Dermodochelys coriácea*), Golfina (*Lepidochelys olivacea*) y Prieta (*Chelonia mydas*), y 3) por el tipo de interacciones que presentan con las seis principales pesquerías artesanales de la zona: huachinango (*Lutjanus peru*), flamenco (*Lutjanus guttatus*), sierra (*Scomberomorus sierra*), blanco (*Caulolatilus princeps*), cocinero (*Caranx caballus*) y langosta (*Panulirus gracilis*). Todas estos grupos se probaron estadísticamente mediante la comparación de las aproximaciones de la estadísticas frecuencista y la estadística bayesiana, siendo esta última la que permitió la determinación inequívoca de cuatro regiones en términos de abundancia (AB1, AB2, AB3 y AB4), tres regiones en términos de avistamientos (AV1, AV2 y AV3), tres regiones en términos de tipo de interacciones (IN1, IN2 e IN3), además de mostrar tres asociaciones estadísticas (Laúd-Huachinango, Golfina-Blanco y Prieta-Blanco) en términos de ubicación geográfica.

Además, se llevó a cabo la aplicación de un modelo geoestadístico predictivo (kriging) para poder determinar en qué regiones existe una mayor probabilidad de que ocurran estos avistamientos e interacciones con las especies de la pesca artesanal, y su comparación con datos obtenidos *in situ* mediante telemetría satelital para el caso de tortuga Laúd. Por lo que el objetivo del presente estudio, de proporcionar herramientas y metodologías de análisis para quienes toman las decisiones en relación a los programas de conservación y manejo de estas especies, para contribuir al desarrollo de soluciones integrales para ambas partes.

Palabras clave: **interacción entre tortuga y pesca artesanal, telemetría satelital, geoestadística (kriging), comparación estadística frecuentista y bayesiana.**

Abstract of the thesis presented by Juan Manuel Galaviz López as a partial requirement to obtain the Master of Science in Marine Ecology

A geostatistical model for evaluating the interaction between sea turtle and artisanal fisheries off the nesting beaches in Guerrero and Oaxaca, Mexico.

Abstract by:

Juan Manuel Galaviz López

The drastic decline in populations of several species of sea turtles in the last decade has caused all of them are located within the statutory protection and conservation at national and international level, the information about the zones they used during their interesting time and interactions with artisanal fisheries at a regional level are not yet fully described, making it difficult to design, implement and evaluate strategies for sea turtle conservation.

In this paper the determination of geographical regions consisting of fishing was done in terms of : 1) the abundance of commercial fish species, 2) the sighting of species such as leatherback sea turtle (*Dermochelys coriacea*), Olive Ridley (*Lepidochelys olivacea*) and green turtle (*Chelonia mydas*), and 3) by the type of interactions that occur with the six main artisanal fisheries in the area: pacific red snapper (*Lutjanus peru*), Spotted red snapper (*Lutjanus guttatus*), pacific sierra (*Scomberomorus sierra*), ocean whitefish (*Caulolatilus princeps*), green jack (*Caranx caballus*) and green spiny lobster (*Panulirus gracilis*). All these groups were statistically tested by comparing the approaches of the statistics frequentist and the Bayesian statistics, being this last which allowed the unequivocal determination of four regions in terms of abundance (AB1, AB2, AB3 and AB4), three regions in terms of sightings (AV1 , AV2 and AV3), three regions in terms of the type of interactions (IN1, IN2 and IN3), and shows three statistical associations (leatherback - red snapper, whitefish – ridley and whitefish- green) in terms of geographical location.

Besides, we applied a geostatistical model (kriging) to determine regions where greater likelihood of these interactions occur. Comparison with *in situ* data obtained by satellite telemetry for leatherback sea turtle was also presented. Therefore, the aim of this study of providing tools and methodologies of analysis to take decisions for conservation and management programs of these species, aimed to develop solutions for both parties.

Keywords: turtles and artisanal fisheries interaction, satellite telemetry, geostatistics (kriging), frequentist and Bayesian statistical comparison.

Dedicada a los locos, los inadaptados, los rebeldes, los alborotadores,
por los que no encajan ni se conforman con lo que se les dice,
por los que ven las cosas de una manera diferente. Por los que no les
gustan las reglas y no respetan el status quo.

Pueden no estar de acuerdo, glorificarlos o rebajarlos. Pero lo
que no puedes hacer es ignorarlos. Porque cambian las cosas.
Empujan adelante la raza humana. Mientras algunos los vean como
Locos hay esperanza. Porque las personas que se creen tan
locas para pensar que puedan cambiar el mundo
son aquellas que logran hacerlo.

*Los sueños parecen al principio imposibles,
luego improbables, y luego,
cuando nos comprometemos,
se vuelven inevitables.*

(Mahatma Gandhi)

Agradecimientos

Al Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE), por haberme brindado la oportunidad de estar en el posgrado de Ecología Marina y cursar la Maestría.

A CONACYT, por el apoyo económico otorgado a través del programa de becas de Maestría.

A la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP), por permitirme usar los datos generados en el reporte correspondiente al convenio de concertación PROMOB/DRFSIPS/SPC-SPTC/02/13, titulado “Monitoreo del Hábitat Marino de la Tortuga Laúd” para la realización de este estudio.

A la Dra. Ma. Elena Solana Arrellano por aceptar el reto de dirigir esta investigación a pesar de no ser su área de especialidad, por todo el apoyo que durante estos dos años que fue más allá del ámbito profesional, por brindarme su amistad al grado de soportarme, guiarme, preocuparse por mi persona y mis problemas durante toda mi estancia en esta maestría.

A mis sinodales el Dr. Luis Eduardo Calderón Aguilera, Dr. David Alberto Rivas Camargo, Dr. Javier Helenes Escamilla y M.C Carlos Eduardo Cabrera por brindarme su conocimiento, su tiempo, sus comentarios y sus observaciones que contribuyeron a la mejora de mi tesis, mi conocimiento y mi crecimiento como persona.

Al biólogo Jaén Sandoval por su ayuda en ajuste de mis imágenes de predicciones para poder ser más entendibles.

Al M.C. Esteban Torreblanca por sus sugerencias, recomendaciones y su apoyo para poder iniciar esta línea de investigación que me llevo a la oportunidad de realizar una maestría, además de su amistad y consejo en una infinidad de veces durante un sin número de proyectos.

Al laboratorio de Ecología Matemática y su equipo de trabajo por sus comentarios, sus pláticas y por el apoyo mutuo a través de toda esta gran aventura.

A mis compañeros de generación y anexos, por haber compartido experiencias, risas, aventuras, metas, estrés y preocupaciones. Estando tan lejos de casa, son la familia que tuve durante estos dos años y gracias a los cuales nunca me sentí solo.

A toda mi familia que nunca me ha dejado de apoyar y que en todo momento creyó en mí para poder realizar este logro.

A la hermosa Luz que me rescato de la oscuridad en más de una manera y me enseñó a encontrar un equilibrio entre los extremos en los que manejaba mi vida.

Contenido

	Página
Resumen	iii
Abstract	iv
Dedicatoria	v
Agradecimientos.....	vi
Lista de Figuras	ix
Lista de Tablas.....	xv
1. INTRODUCCION.....	1
2. ANTECEDENTES	5
2.1 Interacción Tortuga-Pesquería	5
2.2 Área de estudio.....	6
2.3 Pesquerías y flota pesquera	7
2.4 Artes y métodos de pesca	8
2.5 Zonas de pesca	9
2.6 Interacciones de las tortugas marinas con el sector pesquero	10
2.7 Geoestadística.....	10
3. OBJETIVOS	12
3.1 General.....	12
3.2 Específicos	12
4. HIPOTESIS	13
5. MATERIALES Y METODOS	14
5.1 Estadística espacial	14
5.1.2 Datos espaciales	14
5.1.3 Autocorrelación, dependencia y heterogeneidad espacial.....	15
5.2 Análisis estructural.....	16
5.2.1 Variograma o Semivariograma	16
5.2.2 Consideraciones para el cómputo del semivariograma	18
5.2.3 Formas generales del semivariograma.....	18
5.2.4 Modelos del semivariograma	19
5.2.5 Métodos de ajuste del variograma experimental	21

5.2.6 Validación del modelo del semivariograma	22
5.3 Kriging	22
5.3.1 Kriging lineal con valor esperado estacionario pero desconocido: Kriging Ordinario.....	24
5.4 Estadística bayesiana.....	27
5.4.1 Aproximación bayesiana.....	27
5.4.2 Probabilidad condicional.....	30
5.4.3 Teorema de Bayes	30
5.4.5 Prueba t bayesiana y ANOVA bayesiano	33
5.6 Telemetría satelital	35
5.6.1 Tipos de transmisores satelitales.....	36
5.7 Análisis de datos.....	37
6. RESULTADOS	39
6.1 Regiones por abundancia de especies.....	39
6.2 Regiones por avistamiento de especies de tortugas marinas.....	46
6.3 Regiones por tipo de interacción	67
6.4 Telemetría satelital	91
7. DISCUSIONES	102
7.1 Discusiones por abundancia de especies.....	103
7.2 Discusiones por avistamiento de especies.	104
7.3 Discusiones por tipo de interacciones.	105
7.4 Telemetría satelital	106
8. CONCLUSIONES.....	107
9. RECOMENDACIONES	110
10. LISTA DE REFERENCIAS.....	111
11. Anexos.....	116

Lista de Figuras

Figura		Página
1	Área de estudio, región de la Costa Chica, en verde playas prioritarias de anidación para la tortuga Laúd Tierra Colorada, Guerrero y Cahuitan, Oaxaca. Tomada de Bourillón <i>et al.</i> (2012).	7
2	Zonas de pesca utilizadas por las pesquerías artesanales dentro de la zona de estudio. Tomada de Bourillón <i>et al.</i> (2012).	9
3	Comportamiento típico de un semivariograma acotado con una representación de los parámetros básicos. Tomado de Giraldo-Henao (2003).	21
4	Resumen grafico para la interpretación del valor del Factor de Bayes...	35
5	a) Transmisor modelo 10-F-295A, Ridgemount, b) Instalación completa del transmisor en quilla de tortuga Laúd	36
6	Regiones sugeridas por el análisis de conglomerados en términos de la abundancia.	40
7	Análisis MDS de las zonas de pesca en términos de la abundancia.	40
8	Distribucion posterior de las densidades por grupo y en promedio general.	42
9	Ubicación geográfica de las regiones determinadas en términos de la abundancia de especies, dentro del mapa	44
10	Mapa de ubicación y gráfica de las principales especies en la región AB1 en términos de abundancia de especies.	44
11	Mapa de ubicación y gráfica de las principales especies en la región AB2 en términos de abundancia de especies.	45
12	Mapa de ubicación y gráfica de las principales especies en la región AB3 en términos de su abundancia de especies.	45
13	Mapa de ubicación y gráfica de las principales especies en la región AB4 en términos de su abundancia.	46
14	Grupos sugeridos por el análisis de conglomerados en términos de asociación entre las principales especies de tortuga y las principales especies de pesca.	47

Lista de figuras (continuación)

15	Regiones sugeridas por el análisis MDS en términos de asociación entre las principales especies de tortuga y las principales especies de pesca	47
16	Distribución posterior de las densidades por grupo y en promedio general	49
17	Grupos sugeridos por el análisis de conglomerados en términos de avistamiento de especies.	51
18	Regiones sugeridas por el análisis MDS en términos de avistamiento de especies.	51
19	Distribución posterior de las densidades por grupo y en promedio general.	52
20	Regiones determinadas en términos de los avistamientos de especies de tortuga marina.	55
21	Mapa y grafica de la región AV1 en términos de los avistamientos de especies de tortuga marina.	55
22	Kriging realizado para región AV1 con base en la asociación de Laúd-Huachinango, los puntos en blanco representan la ubicación de los puntos georreferenciados y la escala a los valores predichos por el kriging.	56
23	Grafica de valores observados vs. Valores predichos por el kriging de la región AV1 con base en la asociación de Laúd-Huachinango.	57
24	Kriging realizado para región AV1 con base en la asociación de Golfina-Blanco, los puntos en blanco representan la ubicación de los puntos georreferenciados y la escala a los valores predichos por el kriging.....	57
25	Grafica de valores observados vs. valores predichos por el kriging de la región AV1 con base en la asociación de Golfina-Blanco.	58
26	Kriging realizado para región AV1 con base en la asociación de Prieta-Blanco, los puntos en blanco representan la ubicación de los puntos georreferenciados y la escala a los valores predichos por el kriging.....	59
27	Grafica de valores observados vs. valores predichos por el kriging de la región AV1 con base en la asociación de Prieta-Blanco.	60
28	Mapa y grafica de la región AV2 en términos de los avistamientos de especies de tortuga marina.	60

Lista de figuras (continuación)

29	Kriging realizado para región AV2 con base en la asociación de Laúd-Huachinango, los puntos en blanco representan la ubicación de los puntos georreferenciados y la escala a los valores predichos por el kriging	61
30	Grafica de valores observados vs. valores predichos por el kriging de la región AV2 con base en la asociación de Laúd-Huachinango.	62
31	Mapa y grafica de la región AV3 en términos de los avistamientos de especies de tortuga marina.	62
32	Kriging realizado para región AV3 con base en la asociación de Laúd-Huachinango, los puntos en blanco representan la ubicación de los puntos georreferenciados y la escala a los valores predichos por el kriging.....	63
33	Grafica de valores observados vs. valores predichos por el kriging de la región AV3 con base en la asociación de Laúd-Huachinango.	64
34	Kriging realizado para región AV3 con base en la asociación de Golfina-Blanco, los puntos en blanco representan la ubicación de los puntos georreferenciados y la escala a los valores predichos por el kriging.....	64
35	Grafica de valores observados vs. valores predichos por el kriging de la región AV3 con base en la asociación de Golfina-Blanco.	65
36	Kriging realizado para región AV3 con base en la asociación de Prieta-Blanco, los puntos en blanco representan la ubicación de los puntos georreferenciados y la escala a los valores predichos por el kriging	66
37	Grafica de valores observados vs. valores predichos por el kriging de la región AV3 con base en la asociación de Prieta-Blanco.	67
38	Regiones sugeridas por el análisis de conglomerados en términos del tipo de interacción entre pesquerías y tortuga marina.....	68
39	Regiones sugeridas por el análisis MDS en términos del tipo de interacción entre pesquerías y tortuga marina.....	68
40	Distribución posterior de las densidades por grupo y en promedio general.	70
41	Regiones determinadas en términos del tipo de interacciones entre las pesquerías artesanales y las tres especies de tortuga marina.....	71

Lista de figuras (continuación)

42	Mapa y grafica de la región IN1 en términos del tipo de interacción entre las pesquerías artesanales y las tres especies de tortuga marina.	72
43	Kriging realizado para región IN1 con base en el tipo de interacción alimentándose, los puntos en blanco representan la ubicación de los puntos georreferenciados y la escala a los valores predichos por el kriging.....	73
44	Grafica de valores observados vs. valores predichos por el kriging de la región IN1 con base en el tipo de interacción alimentándose.	74
45	Kriging realizado para región IN1 con base en el tipo de interacción nadando, los puntos en blanco representan la ubicación de los puntos georreferenciados y la escala a los valores predichos por el kriging.....	74
46	Grafica de valores observados vs. valores predichos por el kriging de la región IN1 con base en el tipo de interacción nadando.....	75
47	Kriging realizado para región IN1 con base en el tipo de interacción copulando, los puntos en blanco representan la ubicación de los puntos georreferenciados y la escala a los valores predichos por el kriging.....	76
48	Grafica de valores observados vs. valores predichos por el kriging de la región IN1 con base en el tipo de interacción copulando.	77
49	Kriging realizado para región IN1 con base en el tipo de interacción con arte de pesca, los puntos en blanco representan la ubicación de los puntos georreferenciados y la escala a los valores predichos por el kriging.	77
50	Grafica de valores observados vs. valores predichos por el kriging de la región IN1 con base en el tipo de interacción con arte de pesca.	78
51	Mapa y grafica de la región IN2 en términos del tipo de interacción entre las pesquerías artesanales y las tres especies de tortuga marina.	79
52	Kriging realizado para región IN2 con base en el tipo de interacción alimentándose, los puntos en blanco representan la ubicación de los puntos georreferenciados y la escala a los valores predichos por el kriging.....	79
53	Grafica de valores observados vs. valores predichos por el kriging de la región IN2 con base en el tipo de interacción alimentándose.	80
54	Kriging realizado para región IN2 con base en el tipo de interacción nadando, los puntos en blanco representan la ubicación de los puntos georreferenciados y la escala a los valores predichos por el kriging.....	81

Lista de figuras (continuación)

55	Grafica de valores observados vs. valores predichos por el kriging de la región IN2 con base en el tipo de interacción nadando.....	82
56	Kriging realizado para región IN2 con base en el tipo de interacción copulando, los puntos en blanco representan la ubicación de los puntos georreferenciados y la escala a los valores predichos por el kriging.....	82
57	Grafica de valores observados vs. valores predichos por el kriging de la región IN2 con base en el tipo de interacción copulando.	83
58	Kriging realizado para región IN2 con base en el tipo de interacción con arte de pesca, los puntos en blanco representan la ubicación de los puntos georreferenciados y la escala a los valores predichos por el kriging.....	84
59	Grafica de valores observados vs. valores predichos por el kriging de la región IN2 con base en el tipo de interacción con arte de pesca.	85
60	Mapa y grafica de la región IN3 en términos del tipo de interacción entre las pesquerías artesanales y las tres especies de tortuga marina.	85
61	Kriging realizado para región IN3 con base en el tipo de interacción alimentándose, los puntos en blanco representan la ubicación de los puntos georreferenciados y la escala a los valores predichos por el kriging.....	86
62	Grafica de valores observados vs. valores predichos por el kriging de la región IN3 con base en el tipo de interacción alimentándose.	87
63	Kriging realizado para región IN3 con base en el tipo de interacción nadando, los puntos en blanco representan la ubicación de los puntos georreferenciados y la escala a los valores predichos por el kriging.....	87
64	Grafica de valores observados vs. valores predichos por el kriging de la región IN3 con base en el tipo de interacción nadando.....	88
65	Kriging realizado para región IN3 con base en el tipo de interacción copulando, los puntos en blanco representan la ubicación de los puntos georreferenciados y la escala a los valores predichos por el kriging.....	89
66	Grafica de valores observados vs. valores predichos por el kriging de la región IN3 con base en el tipo de interacción copulando.	90

Lista de figuras (continuación)

67	Kriging realizado para región IN3 con base en el tipo de interacción con artes de pesca, los puntos en blanco representan la ubicación de los puntos georreferenciados y la escala a los valores predichos por el kriging.....	90
68	Grafica de valores observados vs. valores predichos por el kriging de la región IN3 con base en el tipo de interacción con arte de pesca.	91
69	Mapas de ubicación de los transmisores colocados en tortugas marinas, directamente del sistema ARGOS. a) Transmisor de la tortuga “Cahuiteña”, b) Transmisor de la tortuga “Colorada”, c) Transmisor de la tortuga “Colorada” y d) Transmisor de la tortuga “Lucha”.....	93
70	Mapas de ubicación de cada uno de los transmisores colocados en tortugas marinas durante la época de interanidación frente a las playas de Tierra Colorada y Cahuitán, filtrados en Maptool. a) Transmisor de la tortuga “Cahuiteña”, b) transmisor de la tortuga “Colorada”, c) transmisor de la tortuga “Paulina” y d) transmisor de la tortuga “Lucha”.....	94

Lista de Tablas

Tabla		Página
1	Descripción de las principales artes y métodos de pesca de la región. Tomada de Bourillón <i>et al.</i> (2012).....	8
2	Tipos de interacciones entre tortugas marinas y el sector pesquero, adecuada de (Bourillón <i>et al.</i> 2012).....	10
3	Tipos de modelos teóricos de semivarianza. Adaptado de Geoestadística aplicada, Viera y González (2002).....	20
4	Tipos de predictores kriging y sus propiedades. Adaptado de Viera y González (2002).....	23
5	Resumen de la equivalencia del valor del Factor de Bayes sugerida por Jeffrey (1961).....	34
6	Reajuste de zonas registradas por motivos de doble nombramiento o por sobre posición de zonas.....	37
7	Sitios de pesca considerados para esta investigación y el código correspondiente.....	37
8	Resumen comparativo de la prueba posterior frecuencista (valor p) y de los valores de las pruebas t bayesianas (valor del factor de bayes), para determinar diferencias entre grupos. Los valores marcados en rojo representan diferencias estadísticas.....	43
9	Resumen comparativo de la prueba posterior frecuencista (valor p) y de los valores de las pruebas t bayesianas (valor del factor de bayes), para determinar diferencias entre grupos. Los valores marcados en rojo representan diferencias estadísticas.....	50
10	Comparativo de la prueba posterior frecuencista (valor p) y de los valores de las pruebas t bayesianas (valor del factor de bayes), para determinar diferencias entre grupos. Los valores marcados en rojo representan diferencias estadísticas.....	53
11	Resumen de los valores de cada grupo en las pruebas t bayesianas (valor del factor de bayes), para determinar diferencias entre grupos. Los valores marcados en rojo representan diferencias estadísticas...	54
12	Resumen de las características usadas en el análisis kriging de la región AV1 con base en la asociación de Laúd-Huachinango.....	56
13	Resumen de las características usadas en el análisis kriging de la región AV1 con base en la asociación de Golfina-Blanco.....	58
14	Resumen de las características usadas en el análisis kriging de la región AV1 con base en la asociación de Prieta-Blanco.....	59

Lista de tablas (continuación)

15	Resumen de las características usadas en el análisis kriging de la región AV2 con base en la asociación de Laúd-Huachinango.....	61
16	Resumen de las características usadas en el análisis kriging de la región AV3 con base en la asociación de Laúd-Huachinango.....	63
17	Resumen de las características usadas en el análisis kriging de la región AV3 con base en la asociación de Golfina-Blanco.....	65
18	Resumen de las características usadas en el análisis kriging de la región AV3 con base en la asociación de Prieta-Blanco.....	66
19	Resumen comparativo de la prueba posterior frecuencista (valor p) y de los valores de las pruebas t bayesianas (valor del factor de bayes), para determinar diferencias entre grupos. Los valores marcados en rojo representan diferencias estadísticas.....	70
20	Resumen de las características usadas en el análisis kriging de la región IN1 con base en el tipo de interacción alimentándose.....	73
21	Resumen de las características usadas en el análisis kriging de la región IN1 con base en el tipo de interacción nadando.....	75
22	Resumen de las características usadas en el análisis kriging de la región IN1 con base en el tipo de interacción copulando.....	76
23	Resumen de las características usadas en el análisis kriging de la región IN1 con base en el tipo de interacción con arte de pesca.....	78
24	Resumen de las características usadas en el análisis kriging de la región IN2 con base en el tipo de interacción alimentándose.....	80
25	Resumen de las características usadas en el análisis kriging de la región IN2 con base en el tipo de interacción nadando.....	81
26	Resumen de las características usadas en el análisis kriging de la región IN2 con base en el tipo de interacción copulando.....	83
27	Resumen de las características usadas en el análisis kriging de la región IN2 con base en el tipo de interacción con arte de pesca.....	84
28	Resumen de las características usadas en el análisis kriging de la región IN3 con base en el tipo de interacción alimentándose.....	86
29	Resumen de las características usadas en el análisis kriging de la región IN3 con base en el tipo de interacción nadando.....	88
30	Resumen de las características usadas en el análisis kriging de la región IN3 con base en el tipo de interacción copulando.....	89

Lista de tablas (continuación)

31	Resumen de las características usadas en el análisis kriging de la región IN3 con base en el tipo de interacción con arte de pesca.....	91
32	Resumen de las características de las tortugas con transmisor satelital.....	92
33	Ficha ejecutiva de la investigación.....	107

1. INTRODUCCION

Las poblaciones de diversas especies de tortuga marina en el Pacífico Oriental fueron consideradas durante mucho tiempo entre las más grandes del mundo. Por citar un ejemplo, se puede mencionar que al inicio de los años 80's se consideraba que el Pacífico Mexicano albergaba el 65% de la población mundial de tortuga laúd (*Dermochelys coriacea*), estimada en ese tiempo en aproximadamente 75,000 hembras (Márquez *et al.* 1999). Sin embargo, en los últimos años en México se ha presentado una disminución de sus poblaciones, lo que ha ocasionado que actualmente las especies de tortuga marina (*Caretta*, *Eretmochelys imbricata*, *Lepidochelys olivacea*, *Lepidochelys kemppi*, *Chelonia mydas*, *Dermochelys coriacea* y *Chelonia agassizii*) que llegan a desovar en playas mexicanas estén catalogadas como especies prioritarias para su conservación dentro de la NOM-059 (SEMARNAT, 2010). El declive de las poblaciones de tortuga marina también se puede observar a nivel mundial, donde la mayoría de las poblaciones mostraron una disminución drástica de más del 80% en menos de 20 años, por ello actualmente la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) asegura que todas las especies y subespecies se encuentran en alguna categoría de protección. Un ejemplo de esto son la especies de tortuga marina con las que se trabajó en el presente estudio: *Dermochelys coriacea* y *Lepidochelys olivacea* que se encuentran dentro de la categoría "Vulnerable", o la especie *Eretmochelys imbricata*, considerada en la categoría de "Peligro Crítico de Extinción" (UICN, 2012).

El estado actual de las poblaciones de las diferentes especies de tortugas marinas, es consecuencia del uso antropogénico que se les ha dado: a) **cultural** (en diversas sociedades y culturas) se han incorporado en sus costumbres y creencias, b) como **alimento**, se ha consumido su carne, huevos (aceites y proteínas) y sus derivados (hueso, cuero y concha) y c) como **medicamento** (Frazier, 1983). Aunado a ésta problemática, en los últimos años, se han presentado nuevas amenazas para la conservación de tortuga Laúd, Golfina y Prieta, dos de estas amenazas son consideradas en la presente investigación: 1) La interacción entre la población de tortugas marinas y la

pesca artesanal, y 2) la falta de información a nivel regional sobre la distribución de las tortugas marinas.

La primera amenaza, se refiere al efecto de las acciones (directas o indirectas) que afectan a la población de tortugas marinas y que son causadas por la pesca artesanal. Entiéndase como pesca artesanal o ribereña a la que se practica a lo largo de la costa, generalmente a profundidades menores a 50 m y es llamada "artesanal" por sus técnicas y formas de operación sencillas, con poca tecnología o desarrollo (Fuentes Castellanos, 1996). Hay evidencias de que las poblaciones de diferentes especies de tortuga del Pacífico Oriental son afectadas por su interacción con la pesquería ribereña con palangre, redes de deriva, de arrastre y cerco principalmente, tanto en aguas nacionales como internacionales (Guardado, 2007). Además la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, por sus siglas en inglés), en su informe correspondiente al año 2004, considera que el efecto en las poblaciones de tortuga marina causado por la pesca artesanal, es comparable con dos de las problemáticas más fuertes, la destrucción de nidos y el consumo de huevos; ya que suponen, que si las hembras son capturadas por las flotas pesqueras antes de desovar, el impacto ambiental resulta equivalente a destruir todos los posibles huevos dentro de los nidos que pudieron haber puesto. La captura incidental depende de las artes que se utilicen en determinada pesquería así como de la cantidad del esfuerzo pesquero aplicado (Wallace *et al.*, 2010; 2011). Sin embargo, este no es el único tipo de interacción que puede ocurrir entre tortugas marinas y las pesquerías artesanales. La FAO durante el mismo informe, enlista diversas acciones que de manera directa e indirecta tienen efecto sobre las poblaciones de tortuga. Ejemplo de estas acciones son la destrucción del hábitat playero (incluida la construcción y urbanización de playas), la destrucción de zonas de alimentación, captura o caza directa en playa, golpes por embarcaciones, por mencionar algunos. Aun así, se desconoce la tasa de mortalidad causada por el efecto antropogénico y no existe información disponible sobre la tasa de captura incidental en la flota artesanal mexicana (Koch *et al.*, 2006).

La segunda, se refiere a la falta de información a nivel regional sobre el comportamiento migratorio de las diversas especies de tortuga marina, su distribución espacial y las zonas que ocupan durante el tiempo de inter-anidación (Espinoza *et al.*, 2011). A pesar de que

se sabe que las especies de tortuga marina tienen sitios específicos de desarrollo y alimentación, en algunos sitios, particularmente en áreas costeras, se puede encontrar la combinación de estas zonas con la presencia de más de una especie (Eckert, 2001), o en muchos de los casos estar mal documentada su presencia en éstas zonas (FAO, 2004). Esta falta de información es una de las principales problemáticas, ya que esta área carece de sistemas eficientes para la generación de información, el procesamiento de los datos y la evaluación cuantitativa sobre las interacciones entre tortugas marinas y pesquerías, lo cual evita poder determinar con precisión las localidades, profundidades, estacionalidades de la pesca. Adicionalmente se desconoce la magnitud real de la captura incidental y dirigida, dando como resultado que la incertidumbre sobre las tasas de captura incidental y mortalidad asociada a pesca artesanal sea alta (FAO 2004).

Esta información es un requisito indispensable para poder establecer las acciones prioritarias de manejo y/o las estrategias de conservación de la biodiversidad, por ello es necesario el manejo de herramientas para analizar estadísticamente este tipo de datos multivariados de naturaleza espacial y temporal con referencia geográfica, como lo es la geoestadística (Giraldo, 2000; Quiterio *et al.*, 2009). Esta rama de la estadística fue acuñada por Matheron (1963) al formalizar y generalizar matemáticamente un conjunto de técnicas desarrolladas por Krige (1941), la cual se especializa en el análisis y la modelación de la variabilidad espacial basándose en valores georreferenciados, suponiendo una correlación entre ellos y cuyo principal objetivo es estimar y predecir, a partir de escasa información conocida, el valor de una variable en una determinada localidad/es, con la finalidad de generar mapas temáticos que pueden combinarse con el fin de analizar posibles interacciones entre las diversas variables (Matheron, 1962; 1963).

En el presente trabajo se pretende realizar un análisis geoestadístico de las interacciones entre tortuga marina y la pesca artesanal. Se define como “interacción” a la presencia de las diferentes especies de tortuga marina que compartan las mismas zonas geográficas con las pesquerías artesanales al momento de que éstas realicen sus jornadas de pesca, (ya sea de manera directa o de una forma indirecta). Todo esto dentro del periodo de tiempo que abarca la temporada de anidación de tortuga laúd (noviembre a marzo), e incorporar esta información para ampliar el conocimiento que ya se tiene de las

características de las pesquerías artesanales que se realizan en las comunidades aledañas, y que tienen interacciones con las tortugas marinas que utilizan para su anidación las playas de Tierra Colorada, Guerrero y Cahuitán, Oaxaca, esperando que de esta forma se convierta en una herramienta útil y que contribuya al desarrollo de soluciones integrales a la problemática existente.

2. ANTECEDENTES

2.1 Interacción Tortuga-Pesquería

El estudio de las interacciones entre diversas especies de tortuga marina y los diversos tipos de pesquerías en nuestro país, es un tema que se ha venido desarrollando en los últimos años, destacan los estudios sobre captura incidental en flotas pesqueras del Golfo de México: análisis tróficos (Abarca-Arenas *et al.*, 2004), programas de observadores (González Ania *et al.*, 1998; Solana-Sansores *et al.*, 2002) y aprovechamiento (Morales *et al.*, 2001).

En la costa oeste del país sobresalen modelaciones tróficas o de explotación (Arreguín-Sánchez y Calderón-Aguilera, 2002) y taxonomía de las capturas incidentales (p. ej. Olabaria, 1999; Alejo Plata *et al.*, 2001; Parente y Hendrickx, 2001; Pérez González *et al.*, 2002).

Por otra parte, la Word Wildlife Fund (WWF) México, en su reporte para la comisión de cooperación ambiental, describe a las flotas ribereñas de Guerrero y Oaxaca como incipientes dedicadas principalmente a la pesca de escama con alta incidencia de redes, pero con un crecimiento alarmante, lo cual lo convierte en el sector pesquero más complejo y dinámico por la diversidad de ambientes, especies, tecnologías y variables socioeconómicas que involucra. Aunado a esto Guardado en 2007 menciona en un trabajo que aborda el tema de los pescadores artesanales, sus características sociales y el problema de la apropiación y administración de los recursos pesqueros en la costa de Michoacán, que la mortalidad por pesca debido a la captura incidental es una de varias amenazas que sufren las especies de tortugas marinas que llegan para anidar a este estado, como lo son *Lepidochelys olivacea*, *Dermochelys coriacea* y *Chelonia mydas*. Debido a esto, es necesario determinar y documentar las interacciones con flotas artesanales, concluyendo que la incidencia de captura incidental con tortuga marina es alta y requiere de programas que mejoren esta situación (Rodríguez-Valencia and Cisneros-Mata 2006) para las playas de Tierra Colorada y Cahuitán (Guerrero y Oaxaca)

De igual manera la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP), ha llevado acabo el monitoreo de la abundancia de anidación anual de manera sistemática

y estandarizada, con el objetivo de establecer una estrategia de recuperación de la tortuga marina, que considere tanto el conocimiento general sobre la biología de estas especies, así como su interacción con todos los actores involucrados en las playas antes mencionadas (CONANP 2010).

2.2 Área de estudio

El área de estudio se encuentra dentro de la región denominada La Costa Chica, que es una de las siete regiones geo-económicas y culturales que conforman el estado de Guerrero, en el sur de México. Esta región comienza al este de Acapulco y se extiende hasta la costa central del estado de Oaxaca. Sus límites territoriales son al norte con las regiones de La Montaña y Centro, al sur con el Océano Pacífico, al oriente con el estado de Oaxaca (Costa Chica de Oaxaca) y al poniente con la región de Acapulco. El tipo de clima que predomina es el Cálido subhúmedo con lluvias en verano, a excepción de porciones mínimas en el norte y oriente del territorio donde se da el templado subhúmedo con lluvias en *verano*. La temperatura en la región oscila entre los 22 y 28°C, siendo el litoral de la costa la zona que experimenta temperaturas más cálidas. Esta zona se compone de tres comunidades, Barra de Tecoanapa, Guerrero (en lo subsecuente llamada BT), Punta Maldonado, Guerrero (que será referida como PM) y Corralero (CO), Oaxaca y dos playas de anidación de tortuga Tierra Colorada y Cahuitán (Bourillón *et al*, 2012).

La playa de Tierra Colorada y sus alrededores fue decretada como Zona de Reserva y Sitio de Refugio para la Protección, Conservación, Repoblación, Desarrollo y Control de las Tortugas Marinas que ahí desovan en 1986 (Poder ejecutivo federal, 1986), en el 2002 adquirió la categoría de Santuario y finalmente en el 2003 se decreta como Sitio Ramsar. Además de esto desde finales de los 70's se han realizado programas de protección y evaluación de las poblaciones de tortugas. Por su parte la playa de Cahuitán fue decretada en el 2003 como Sitio Ramsar y en el 2005 se elaboró el estudio previo justificativo para establecer en este sitio un Área Natural Protegida con categoría de Santuario, que actualmente se encuentra en proceso de ser decretada (Poder ejecutivo federal, 2005), en esta playa se ha llevado el monitoreo de la abundancia de manera

sistemática y estandarizada en toda la región desde la temporada 1995. Ambas son consideradas playas prioritarias de anidación para la tortuga Laúd (Bourillón *et al.*, 2012).

Dentro de esta región, la pesca ribereña ha sido una actividad relevante en las comunidades de Barra de Tecoanapa (BT), Punta Maldonado (PM) y Corralero (CO) (Figura 1). Como proveedora de alimento para la supervivencia o como actividad productiva que continuamente ha dado empleo y mantenido la economía a la mayor parte de los pobladores del área, la extracción de recursos marinos (moluscos, crustáceos, elasmobranquios, peces óseos y tortugas) ha tenido un papel importante en la vida y desarrollo de estas regiones (Ortega del Valle *et al.*, 2008).

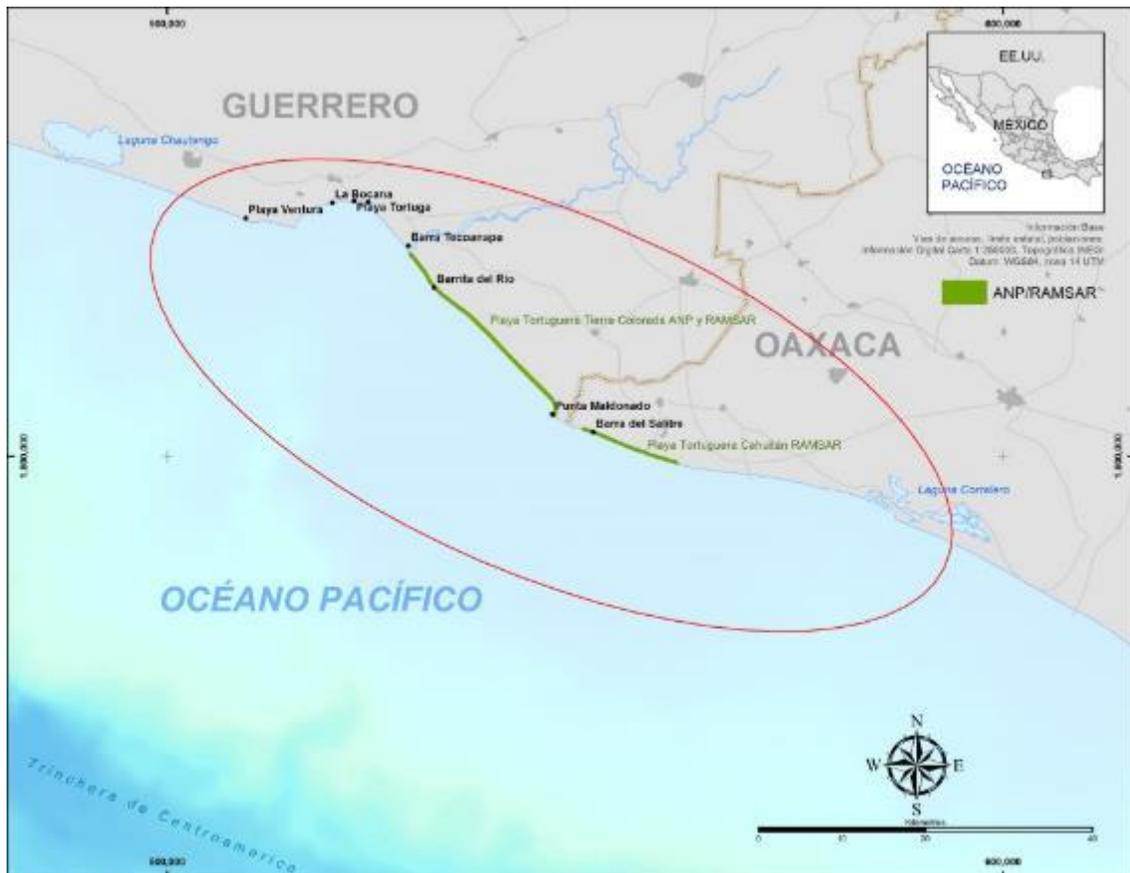


Figura 1: Área de estudio, región de la Costa Chica, en verde playas prioritarias de anidación para la tortuga Laúd Tierra Colorada, Guerrero y Cahuitán, Oaxaca. Tomada de Bourillón *et al.* (2012).

2.3 Pesquerías y flota pesquera

La flota pesquera de las localidades aledañas (BT, PM y CO) está formada en su conjunto por poco más de 250 embarcaciones menores, dedicadas a la pesca ribereña. Las

embarcaciones menores presentan una eslora de 22 a 25 pies, son impulsadas con motores fuera de borda y carecen de capacidad instalada para refrigerar. Eventualmente hay presencia de embarcaciones mayores por lo regular vinculadas a la pesca del camarón y que provienen de otros puertos (Bourillón *et al.*, 2012).

De los recursos pesqueros utilizados en la zona se describieron los seis más importantes en función de su valor de comercialización y mercado, cinco de ellos peces: Huachinango (*Lutjanus peru*) con 60.3% de la captura total, Flamenco (*Lutjanus guttatus*) con un 20.8%, Sierra (*Scomberomorus sierra*) con 10.6%, Blanco (*Caulolatilus princeps*) con 2.2%, Cocinero (*Caranx caballus*) con 1.7% y un crustáceo: langosta (*Panulirus gracilis*) con 2.8% de la captura total reportada para este estudio (Bourillón *et al.*, 2012). Para mayor información ver anexo I.

2.4 Artes y métodos de pesca

En las comunidades de BT, PM y CO se utilizan principalmente cuatro tipos de artes de pesca, estos artes de pesca están asociados con pesquerías específicas, como son las del huachinango y flamenco que se pescan con cuerda y anzuelo, para las pesquerías de sierra y langosta son utilizados los trasmallos de 3 ¼ y 5 pulgadas (Tabla 1). El arte de pesca más utilizado de acuerdo al tamaño estimado de la flota es la piola o “cuerda” como comúnmente se le conoce (61%), trasmallo de fondo (18%), trasmallo de deriva (5%), trasmallo langostero (6%) y el buceo (2%) (Bourillón *et al.*, 2012).

Tabla 1: Descripción de las principales artes y métodos de pesca de la región. Tomada de Bourillón *et al.* (2012).

<i>Especie objetivo</i>	<i>Arte de pesca</i>	<i>Método de pesca</i>	<i>BT</i>	<i>PM</i>	<i>CO</i>
Huachinango	Cuerda y anzuelo		X	X	X
Huachinango	Trasmallo 3 ¼ “	Tendido de fondo	X		
Flamenco	Cuerda y anzuelo			X	X
Sierra	Trasmallo 3 ¼ “	Tendido superficial	X	X	X
Langosta	Trasmallo 5”	Tendido sobre fondo		X	X
Peces de escama y langosta	Buceo semiautónomo			X	

2.6 Interacciones de las tortugas marinas con el sector pesquero

Las interacciones se dividieron en cuatro tipos; 1) nadando, 2) alimentándose, 3) copulando y 4) con artes de pesca. Como se mencionó anteriormente, se define “interacción” al hecho de que las especies de tortuga marina presentes en el área de estudio compartan las mismas zonas geográficas con las pesquerías artesanales al momento de que éstas realicen sus jornadas de pesca (Bourillón *et al.*, 2012).

Se registraron 202 avistamientos, de los cuales se identificaron tres especies de tortugas marinas; Laúd (*Dermochelys coriacea*), Golfina (*Lepidochelys olivacea*) y Prieta (*Chelonia mydas*) dentro de la zona de estudio, éstas se encuentran en diversas concentraciones a lo largo del año debido a que las temporadas de anidación de cada una de las especies es diferente, de noviembre a marzo para el caso de tortuga Laúd, de julio a diciembre para tortuga Golfina y finalmente de agosto a enero para tortuga Prieta. En la tabla 2 se muestra el tipo de interacción registrada durante el periodo de observación de noviembre a marzo (Bourillón *et al.*, 2012).

Tabla 2: Tipos de interacciones entre tortugas marinas y el sector pesquero, adecuada de (Bourillón *et al.* 2012).

Especies	Avistamientos	Tipo de interacción			
		Nadando	Alimentándose	Copulando	Arte de pesca
Laúd	5	3	1	0	1
Golfina	140	102	28	6	4
Prieta	57	36	10	7	4

2.7 Geoestadística

Refiriéndose a la parte estadística es importante resaltar que la geoestadística se define tradicionalmente como la rama estadística que se especializa en el análisis y la modelación de la variabilidad espacial. Su objeto de estudio es el análisis y la predicción de fenómenos en espacio y/o espacio-tiempo; con el propósito de “estimar o predecir valores de una variable en localidades donde no se conoce, a partir de escasa información conocida”, y además hacerlo con el mínimo sesgo y error posible.

Tradicionalmente el prefijo “geo” es asociado a la geología, sin embargo tiene sus orígenes en la minería, nace a partir de los años setenta, con el propósito de predecir valores de las variables en sitios no muestreados como una herramienta para la Ingeniería de minas. Como antecedentes se pueden citar los trabajos de Sichel (1947; 1949) y Krige (1951). El primero observó la naturaleza asimétrica de la distribución del contenido de oro en las minas de Sudáfrica, las igualó a una distribución de probabilidad lognormal y desarrolló las fórmulas básicas para esta distribución. Esto permitió una primera estimación de las reservas, pero bajo el supuesto de que las mediciones eran independientes, en clara contradicción con la experiencia de que existen “zonas” más ricas que otras. Una primera aproximación a la solución de este problema fue dada por el geólogo G. Krige que propuso una variante del método de medias móviles, el cual puede considerarse como equivalente a lo que hoy se denomina kriging simple, que es uno de los métodos de estimación lineal en el espacio con mayores cualidades teóricas. La formulación rigurosa y la solución al problema de predicción (estimación en muchos textos geoestadísticos) vinieron de la mano de Matheron (1962) en la escuela de minas de París. En los años sucesivos la teoría se fue depurando, ampliando su campo de validez y reduciendo las hipótesis necesarias (Samper y Carrera, 1990). De la minería las técnicas geoestadísticas, se han "exportado" a muchos otros campos como hidrología, física del suelo, ciencias de la tierra y más recientemente al monitoreo ambiental y al procesamiento de imágenes de satélite. Aunque la aplicación de la herramienta geoestadística es bastante reciente, son innumerables los ejemplos en los que se ha utilizado esta técnica en estudios ambientales con el ánimo de predecir fenómenos espaciales (Robertson, 1987; Cressie y Majure, 1997; Diggle *et al.*, 1998).

En la actualidad el prefijo “geo” se asocia a los Sistemas de Información Geográficos (SIG o GIS por su acrónimo en inglés) y toma como válidas las siguientes definiciones alternativas:

- Estadística aplicada a datos geográficos.
- Sinónimo de estadística espacial.
- Gestión, tratamiento e interpretación de datos espaciales.
- Descripción cuantitativa de variables naturales que se distribuyen en el espacio o en el espacio y el tiempo.

3. OBJETIVOS

3.1 General

Caracterizar y predecir mediante el uso de la geoestadística las zonas, las interacciones entre las especies de tortuga marina y las principales pesquerías artesanales, que ocurren frente a las playas prioritarias de anidación Tierra colorada, Guerrero y Cahuitán, Oaxaca.

3.2 Específicos

- Explorar la metodología estadística georreferenciada más adecuada para el tratamiento de la base de datos obtenida de las jornadas de pesca de las comunidades aledañas a las playas de anidación.
- Explicar la variación geográfica para cada una de las interacciones entre las diversas especies de tortuga marina y las principales pesquerías artesanales, así como predecir las zonas con mayor probabilidad donde se den estas interacciones.
- Predecir y caracterizar las zonas de pesca mediante el número y tipo de interacciones que presentan con las tortugas marinas en general y cada una de las especies.
- Se pretende comparar las predicciones resultantes, mediante la obtención de datos tomados in situ por telemetría satelital de tortuga Laúd (*Dermochelys coriácea*) en la zona.

4. HIPOTESIS

- Existen diferencias geoestadísticas entre las zonas de pesca de la flota artesanal y las zonas de reproducción, alimentación y avistamiento de tortuga marina frente a las playas de anidación en Guerrero y Oaxaca.
- Existen diferencias en las interacciones geoespaciales entre las especies de tortuga marina y las principales artes de pesca de la flota artesanal frente a las playas de anidación en Guerrero y Oaxaca.

5. MATERIALES Y METODOS

5.1 Estadística espacial

Entendiendo como estadística espacial a la reunión de metodologías apropiadas para el análisis de datos que corresponden a la medición de variables aleatorias en diversos sitios (puntos del espacio o agregaciones espaciales) de una región. De manera más formal se puede decir que la estadística espacial trata con el análisis de realizaciones de un proceso estocástico, es decir un proceso cuyo comportamiento no es determinístico; en otras palabras los procesos en los que los estados futuros de un sistema no están determinados por los estados previos, sino por las acciones predecibles del proceso y por los elementos aleatorios (el azar),

$$\{Z(s): s \in D\}, \quad (1)$$

en el que $Z(s)$ es una variable aleatoria en la ubicación s y s varía sobre un conjunto de índices $D \subset \mathbf{R}^d$, y $s \in \mathbf{R}^d$ representa una ubicación en el espacio euclidiano donde d especifica la dimensionalidad del espacio, generalmente expresados por su latitud, longitud y altitud (Quiterio *et al.*, 2009).

5.1.2 Datos espaciales

En estadística espacial se distinguen tres tipos de datos (Cressie, 1993) de los cuales en esta investigación se utilizaron los datos tipo geoestadísticos o georreferenciados que se definen como:

- Las ubicaciones s provienen de un conjunto no contable $D \in \mathbf{R}^d$ donde d especifica la dimensionalidad del espacio, son continuos y generalmente son seleccionadas a juicio del investigador (D fijo). Es importante resaltar que en este tipo de datos el propósito esencial es la interpolación y si no hay continuidad espacial pueden hacerse predicciones carentes de sentido. De esta forma, las localizaciones se expresan por su latitud, longitud y altitud. Las observaciones se toman en cada localización y se consideran como una realización de un proceso en nuevas localizaciones, mediante técnicas de Kriging, a partir de los datos observados en

las localizaciones muestreadas. El método precisa del conocimiento de la función de covarianza o del semivariograma (Giraldo-Henao, 2003).

Para mayor detalle sobre los otros tipos de datos puede consultarse también Banerjee *et al.* (2004) y Giraldo-Henao (2003).

5.1.3 Autocorrelación, dependencia y heterogeneidad espacial

La autocorrelación espacial, se puede definir como la concentración o dispersión de los valores de una variable en un mapa (Vivalta, 2005). Esta medida refleja el grado en que los objetos o actividades en una unidad geográfica son similares a otros objetos o actividades en unidades geográficas próximas (Goodchild, 1987). Este tipo de autocorrelación prueba la primera ley geográfica de Tobler (1970) de que todo está relacionado con todo lo demás, pero que las cosas cercanas están más relacionadas que las cosas distantes.

La dependencia espacial se presenta cuando el valor de la variable dependiente en una unidad espacial es parcialmente función del valor de la misma variable en unidades vecinas (Flint *et al.*, 2000). Es decir, cuando la autocorrelación es real e independiente, y no existe un factor de aleatoriedad. En el análisis de datos con agregación geográfica es frecuente encontrar que los valores de las variables estén autocorrelacionados espacialmente o sean espacialmente dependientes. La diferencia entre correlación y dependencia espacial es que en el primer caso se hace simultáneamente referencia a un fenómeno y técnica estadística, mientras que el segundo a una explicación teórica (Vilalta 2005).

La heterogeneidad espacial se refiere a la variación de las relaciones entre las variables en el espacio (LeSage, 1999). Es uno de los efectos espaciales más conocidos (además de la autocorrelación espacial), se trata de un concepto que viene definido por la ausencia de estabilidad en el espacio del comportamiento humano o de otras relaciones en estudio. Esto implicará que, en los modelos espaciales, las formas funcionales y los parámetros variarán con la localización geográfica no siendo homogéneos para toda la matriz de datos. Esto se podría observar, por ejemplo, cuando la población de cierta clase social

apoyara a un partido político en una ciudad o región, mientras que en otra ciudad o región la población de la misma o muy similar clase social apoyara a un partido opuesto.

5.2 Análisis estructural

El análisis estructural es la parte de la geoestadística que se encarga de la caracterización de la estructura espacial de una propiedad o fenómeno regionalizado, y de él se obtiene un modelo geoestadístico para la función aleatoria que se estudia. Dicho de otra manera, el análisis estructural consiste en estimar y modelar una función que refleje la correlación espacial de una variable regionalizada a partir de la adopción razonada de la hipótesis más adecuada acerca de su variabilidad (Viera y González, 2002). Para realizar esto se pueden utilizar tres funciones: El semivariograma, covariograma y el correlograma. Sin embargo, la única que no requiere hacer estimación de parámetros es la función de semivarianza. Por esta razón, en este estudio se emplea el semivariograma para el análisis estructural.

A continuación se hace una revisión de los conceptos asociados y se da un breve resumen de sus bondades y limitaciones.

5.2.1 Variograma o Semivariograma

El variograma, conocido también como semivariograma, es una de las herramientas centrales de la geoestadística. Dada una variable regionalizada $Z(x)$ que cumpla con la hipótesis intrínseca (suposición de que la media y la varianza de las diferencias son estacionarias, es decir no dependen de una traslación h de la función aleatoria) entonces existe la función semivarianza y se define como:

$$\gamma(\underline{h}) = \frac{1}{2} \text{Var}[Z(\underline{x}) - Z(\underline{x} + \underline{h})] = \frac{1}{2} E \left[\{Z(\underline{x}) - Z(\underline{x} + \underline{h})\}^2 \right] \quad (2)$$

El semivariograma es una función que relaciona la semivarianza con un vector h conocido como "lag", el cual denota la separación en distancia y dirección de cualquier par de valores $Z(x)$ y $Z(x + h)$.

La forma de estimación más común del semivariograma viene dada por

$$\tilde{\gamma}(\underline{h}) = \frac{1}{N(\underline{h})} \sum_{i=1}^{N(\underline{h})} \frac{[Z(\underline{x}_i + \underline{h}) - Z(\underline{x}_i)]^2}{2} \quad (3)$$

donde $N(\underline{h})$ es el número de pares $Z(\underline{x}_i)$ y $Z(\underline{x}_i + \underline{h})$ separados a una distancia $h = |\underline{h}|$.

Debido a que $\tilde{\gamma}(\underline{h})$ es esencialmente una media de las distancias entre los diferentes pares $Z(\underline{x}_i)$ y $Z(\underline{x}_i + \underline{h})$.

Sus características son las siguientes:

- Es un estimador no paramétrico.
- Es óptimo cuando se dispone de una malla regular de muestreo que sea representativa y la distribución sea normal. En estas condiciones el sesgo es el mínimo posible.

La estimación espacial requiere de una función que describa la variabilidad espacial de la variable analizada, esta función es llamada semivariograma experimental y para interpretar se parte del criterio de que a menor distancia entre los sitios mayor similitud o correlación espacial entre las observaciones. Por ello en presencia de autocorrelación se espera que para valores de h pequeños el semivariograma experimental (SEMEXP) tenga magnitudes menores a las que este toma cuando las distancias h se incrementan, sin embargo en la práctica a menudo el empleo de este estimador produce variogramas experimentales erráticos, lo cual se debe a desviaciones del caso ideal para la aplicación del mismo. Para una descripción de estas desviaciones consúltese Viera y González (2002).

5.2.2 Consideraciones para el cómputo del semivariograma

Para el cómputo del semivariograma es necesario tener en cuenta algunas sugerencias prácticas que permiten elevar la eficiencia y la calidad de la estimación, independientemente del tipo de estimador que se utilice.

Estas sugerencias son las siguientes:

- En la estimación del semivariograma los pares de las observaciones se agrupan según la distancia dentro de un intervalo $h = |\underline{h}|$ con una tolerancia $\pm \Delta h / 2$ y dentro de una dirección θ con una tolerancia $\pm \Delta \theta / 2$. El semivariograma así estimado es considerado suavizado o regularizado.
- El semivariograma debe ser considerado solamente para pequeñas distancias por lo que generalmente, se estima para valores de $|\underline{h}|$ menores que la mitad de la distancia máxima ($|\underline{h}| < d_{\max} / 2$).
- La elección del número de intervalos es arbitraria. No obstante se considera que un número máximo de 25 intervalos es suficiente para cualquier propósito, y un mínimo de 10 debe ser usado para determinar con precisión el rango y la meseta del semivariograma.
- El largo de los intervalos debe ser elegido de forma tal que el número de pares en cada intervalo sea lo suficientemente grande para que el estimado del semivariograma sea relativamente estable. Se considera que entre 30 y 50 pares satisfacen este requerimiento.
- Los valores estimados para cada intervalo se deben graficar contra la distancia promedio de todos los pares que se encuentran dentro de dicho intervalo.

5.2.3 Formas generales del semivariograma.

En sentido amplio se considera por su forma que hay dos tipos principales de semivariogramas:

El primer tipo se da cuando la semivarianza se incrementa con el incremento del valor absoluto del intervalo $|h|$ hasta alcanzar un valor máximo a partir del cual se mantiene relativamente constante y oscila alrededor del mismo, estos son conocidos como de tipo transitivo.

El segundo tipo de semivariograma aparenta un incremento sin límites, es decir son no acotados, por esto no presentan una varianza *a priori* finita.

Un aspecto del semivariograma que es importante señalar es que por definición $\gamma(0) = 0$ pero en la práctica el semivariograma experimental ($\gamma * h$) cuando $|h|$ tiende a cero no necesariamente se anula.

Esto es conocido como efecto "nugget" o pepita, y el valor del semivariograma en cero $\gamma(0)$ es conocido como la varianza "nugget" o microvarianza. En principio esto puede ocurrir solamente si existen discontinuidades en la función aleatoria. En la práctica su existencia se debe a la variación espacial que no puede explicar el variograma debido a la escala del muestreo. Para un material continuamente variable el efecto *nugget* se produce a partir de la contribución de los errores de medición y la variación a distancias mucho menores que el intervalo de muestreo más pequeño.

5.2.4 Modelos del semivariograma

En la presentación del semivariograma dada anteriormente, se indicó que este es calculado sólo para algunas distancias promedios particulares, esto en diversa literatura se conoce con el nombre de variograma experimental. Por ello se hace necesario el ajuste de modelos que generalicen lo observado en el semivariograma a cualquier distancia, denominado también como variograma teórico. Existen diversos modelos teóricos de semivarianza que pueden ajustarse al semivariograma. En Samper y Carrera (1990) se presenta una discusión respecto a las características y condiciones que éstos deben cumplir.

En general dichos modelos pueden dividirse como lo presenta la siguiente tabla:

Tabla 3: Tipos de modelos teóricos de semivarianza. Adaptado de Geoestadística aplicada, Viera y González (2002).

Modelos teóricos de semivarianza		
Modelos transitivos o acotados	- Gaussiano - Esférico - Efecto agujero	- Potencial - Lineal con meseta - Circular
Acotados	- Potencial - Pepita puro	- Logarítmico

El grupo de los modelos no acotados garantizan que la covarianza de los incrementos es finita, por lo cual son ampliamente usados cuando hay evidencia de que presentan buen ajuste. Sin embargo todos estos modelos tienen tres parámetros comunes (Fig. 3) que son descritos a continuación:

Efecto Pepita

Se denota por C_0 y representa una discontinuidad puntual del semivariograma en el origen (Fig. 3). Como se mencionó anteriormente, este efecto puede deberse a errores de medición en la variable o a la escala de la misma o puede ser indicativo de que parte de la estructura espacial se concentra a distancias inferiores a las observadas.

Meseta

Es la cota superior del semivariograma. También puede definirse como el límite del semivariograma cuando la distancia h tiende a infinito. La meseta puede ser o no finita. Los semivariogramas que tienen meseta finita cumplen con la hipótesis de estacionariedad fuerte; mientras que cuando ocurre lo contrario, el semivariograma define un fenómeno natural que cumple sólo con la hipótesis intrínseca (suposición de que el valor esperado de la media y la varianza de las diferencias son estacionarias, es decir no dependen de una traslación h de la función aleatoria). La meseta se denota por C_1 o por $(C_0 + C_1)$ cuando la pepita es diferente de cero. El valor del efecto pepita no debe representar más del 50% del valor de la meseta. Si el ruido espacial en las mediciones explica en mayor proporción la variabilidad que la correlación del fenómeno, las

predicciones que se obtengan pueden ser muy imprecisas. En la figura 3 se representa este parámetro para el caso de uno de los modelos acotados.

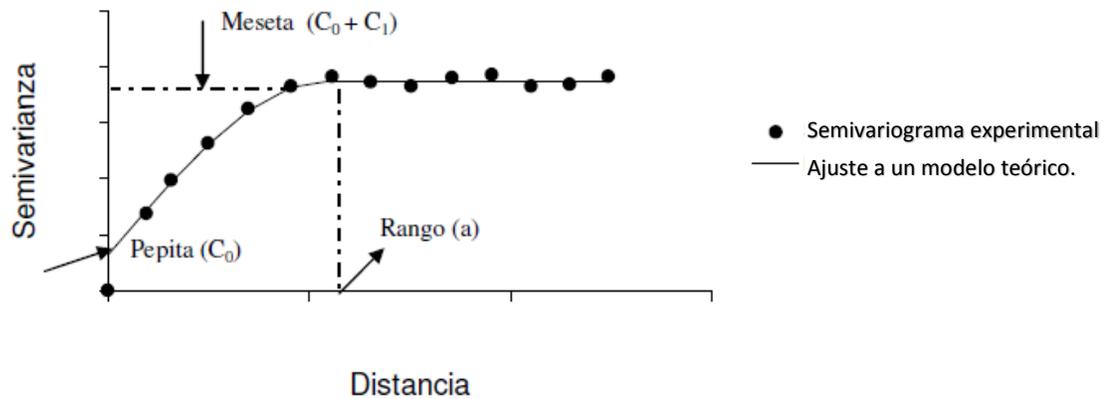


Figura 3: Comportamiento típico de un semivariograma acotado con una representación de los parámetros básicos. Tomado de Giraldo-Henao (2003).

Rango

En términos prácticos, el rango corresponde a la distancia a partir de la cual dos observaciones son independientes en distancia. El rango se interpreta como la zona de influencia. Existen algunos modelos de semivariograma en los que no existe una distancia finita para la cual dos observaciones sean independientes; por ello se llama rango efectivo a la distancia para la cual el semivariograma alcanza el 95% de la meseta. Entre más pequeño sea el rango, más cerca se está del modelo de independencia espacial. El rango no siempre aparece de manera explícita en la fórmula del semivariograma.

5.2.5 Métodos de ajuste del variograma experimental

Algunos geoestadísticos ajustan los modelos (variogramas teóricos que generalicen lo observado a cualquier distancia) de forma visual, pero esta práctica no es fiable y es preferible usar algún procedimiento estadístico para estos fines.

Para el caso de esta investigación es usada la aproximación por Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO), este modelo asume que los residuos están normalmente distribuidos y son independientes y que las semivarianzas estimadas poseen igual varianza.

5.2.6 Validación del modelo del semivariograma

Para validar el modelo obtenido de variograma se puede proceder de varias maneras. Un método que resulta atractivo por su sencillez y eficiencia es el *leave one out* que consiste en sacar un elemento de la muestra y estimar el valor en ese punto usando Kriging con el modelo de variograma obtenido. De forma análoga se actúa para el resto de los elementos de la muestra. Como resultado se obtiene un mapa de las diferencias $Z(\underline{x}_i) - Z^*(\underline{x}_i)$, $i = 1, \dots, n$ entre el valor real y el estimado.

De forma tal que si el modelo del semivariograma refleja adecuadamente la estructura espacial implícita en el conjunto de datos, entonces los valores estimados deben ser cercanos a los valores observados.

Esta "cercanía" puede ser caracterizada por diferentes estadígrafos, idealmente todos los estadígrafos deben satisfacerse simultáneamente, pero en la práctica una mejoría en uno de ellos puede degradar a otro. Por lo que es recomendable hacer un análisis integral de los estadígrafos de las diferencias.

5.3 Kriging

El krigeado o krigeaje (*kriging* en la literatura inglesa) es un término que ha sido acuñado para designar al "mejor estimador líneal insesgado" de un punto y al mejor promedio lineal móvil ponderado de un bloque, entendiéndose por promedio móvil al método que emplea el promedio más reciente de n valores en una serie de datos como pronóstico para el siguiente periodo.

Este nombre apareció alrededor de 1960 para nombrar una técnica creada en Francia por Matheron a partir de los trabajos de Krige quién fue probablemente el primero que hizo uso de la correlación espacial y del mejor estimador lineal insesgado en el campo de la evaluación de yacimientos minerales (Viera y González, 2002).

El kriging confina un conjunto de métodos de predicción espacial que se fundamentan en la minimización del error cuadrático medio de predicción en otras palabras es una técnica

de estimación local que ofrece el mejor estimador lineal insesgado de una característica desconocida que se estudia.

Las principales características que hacen del kriging un método de estimación muy superior a los tradicionales, como el inverso ponderado de la distancia, la triangulación, entre otros, son las siguientes:

- 1) Mientras que los métodos tradicionales utilizan el concepto euclidiano de la distancia para el cálculo de los pesos que se aplicarán a cada dato muestral, el kriging considera tanto la distancia como la geometría de la localización de las muestras.
- 2) Mediante el kriging se minimiza la varianza del error esperado (diferencia entre el valor real y el estimado). Como el valor real en un punto no muestral es desconocido, el kriging emplea un modelo conceptual con una función aleatoria asociada a los valores reales.
- 3) Los métodos geoestadísticos muestran una gran flexibilidad para la interpolación, pudiéndose estimar valores puntuales o en bloques, así como métodos para incorporar información secundaria que esté relacionada con la variable principal. Todos estos métodos dan lugar a unas superficies muy suaves, además de una estimación de la varianza en todos los puntos, lo cual no puede realizarse con otros métodos de interpolación.

En la tabla 4 se mencionan los tipos de kriging y algunas de sus propiedades.

Tabla 4 : Tipos de predictores kriging y sus propiedades. Adaptado de Viera y González (2002).

Tipo de predictor	Nombre	Propiedades
Lineal	- Simple - Ordinario - Universal	- Son óptimos si hay normalidad multivariada. - Independiente de la distribución son los mejores predictores linealmente insesgados.

No lineal	-	Indicador	-	Son predictores óptimos
	-	Probabilístico		
	-	Log Normal, Trans-Gaussiano		
	-	Disyuntivo		

Los métodos kriging se aplican con frecuencia con el propósito de predicción, sin embargo estas metodologías tienen diversas aplicaciones, dentro de las cuales se destacan la simulación y el diseño de redes óptimas de muestreo. Para este estudio, por el tipo de datos que se tienen, se decidió que el kriging ordinario es la mejor opción para poder realizar las predicciones y simulaciones necesarias para cubrir con los objetivos planteados en esta investigación, y por lo cual se hace una descripción más detallada a continuación.

5.3.1 Kriging lineal con valor esperado estacionario pero desconocido: Kriging Ordinario

Suponga que se hacen mediciones de la variable de interés Z en los puntos x_i , $i = 1, 2, \dots, n$, de la región de estudio, es decir se tienen realizaciones de las variables $Z(x_1), \dots, Z(x_n)$, y se desea predecir $Z(x_0)$, en el punto x_0 donde no hubo medición. En esta circunstancia, el método kriging ordinario propone que el valor de la variable puede predecirse como una combinación lineal de las n variables aleatorias de la siguiente manera:

$$\begin{aligned}
 Z^*(x_0) &= \lambda_1 Z(x_1) + \lambda_2 Z(x_2) + \lambda_3 Z(x_3) + \lambda_4 Z(x_4) + \lambda_5 Z(x_5) + \dots \\
 &+ \lambda_n Z(x_n) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i)
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

en donde los λ_i representan los pesos o ponderaciones de los valores originales. Dichos pesos se calculan en función de la distancia entre los puntos muestreados y el punto donde se va a hacer la correspondiente predicción. La suma de los pesos debe ser igual a uno para que la esperanza del predictor sea igual a la esperanza de la variable.

Esto último se conoce como el requisito de insesgamiento. Expresado en otras palabras, para obtener un valor esperado del error igual a cero resulta suficiente imponer la condición:

$$E[Z_k^*] = E\left[\sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i)\right] = m; \quad (5)$$

donde m es el valor esperado de la función aleatoria $Z(x)$.

Esto implica que

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i E[Z(x_i)] = E[Z_k^*] \quad (6)$$

entonces

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i m = m \quad (7)$$

y finalmente

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1 \quad (8)$$

Y para la condición de que la estimación sea de mínima varianza hay que minimizar la siguiente función:

$$F = \sigma_e^2 - 2\mu \left(\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1 \right) \quad (9)$$

Donde

σ_e^2 - es la varianza de la estimación,

μ - un multiplicador de Lagrange.

Nótese que la función F en la ecuación a minimizar consta de la varianza de la estimación σ_e^2 e incluye la condición que garantiza el no sesgo de la estimación.

La varianza de la estimación se expresa de la siguiente manera:

$$\begin{aligned}\sigma_e^2 &= \text{Var}[Z_k - Z_k^*] = E[Z_k - Z_k^*]^2 \\ \sigma_e^2 &= \text{Var}[Z_k] - [Z_k, Z_k^*] + \text{Var}[Z_k^*]\end{aligned}\quad (10)$$

Sustituyendo en esta última fórmula la expresión del estimador, desarrollándola y hallando las derivadas parciales de F respecto a los coeficientes desconocidos λ_i y con respecto a μ obtenemos lo siguiente:

- Sistema de ecuaciones

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^n \lambda_j \sigma_{Z_i Z_j} - \mu = \sigma_{Z_k Z_i}, & i = 1, \dots, n \\ \sum_{i=1}^n \lambda_i = 1 \end{cases}\quad (11)$$

- Estimador

$$Z_0^* = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(\underline{x}_i)\quad (12)$$

- Varianza de la estimación:

$$\sigma_{K_0}^2 = \sigma_{00} - \sum_{i=1}^n \lambda_i \sigma_{i0} + \mu\quad (13)$$

Requisitos:

- Se requiere que el valor esperado $m(\underline{x}_i) = E[Z(\underline{x}_i)] = m, \forall i = 1, \dots, n$ de la función aleatoria $Z(\underline{x})$ sea constante
- Conocer la función de covarianzas σ_{ij} o el semivariograma γ_{ij} de la función aleatoria $Z(\underline{x})$.

5.4 Estadística bayesiana

La estadística bayesiana debe su nombre al trabajo pionero del reverendo Thomas Bayes titulado: "*An Essay Towards Solving a Problem in the Doctrine of Chances*" (Un ensayo hacia la solución de problemas en la disciplina del azar) publicado en el año de 1764, en dicho artículo, el matemático inglés ofreció una sencilla demostración de la teoría de la probabilidad cuyas consecuencias difícilmente podía prever. Bayes ya había muerto cuando el ensayo fue enviado por Richard Price a la Real Sociedad de Londres en 1763 por lo que algunos estudiosos todavía debaten si Price tuvo alguna intervención más sustancial.

Aunque esta obra data ya de más de dos siglos la estadística Bayesiana es relativamente nueva y ha sido enriquecida por diversos autores como Bruno de Finetti, Harold Jeffreys, Jimmie Savage y Dennis Lindley, por lo cual actualmente ostenta un gran desarrollo aunque no ajena también a grandes controversias (EIUNIVERSAL.BLOGS, 2013).

5.4.1 Aproximación bayesiana

Para poder comprender como difieren las aproximaciones de la estadística frecuentista a las aproximaciones de la estadística bayesiana es importante tener en cuenta los aspectos principales de cada una.

La aproximación frecuentista se caracteriza por:

- Los parámetros poblacionales son características numéricas de la población constantes pero desconocidas.
- Las probabilidades son siempre interpretadas como frecuencias relativas de muestras grandes.
- Los procedimientos estadísticos se juzgan por lo bien que estos tienen éxito o pueden explicarse a lo largo de un número infinito de repeticiones hipotéticas del experimento

- Afirmaciones probabilísticas solo son permitidas para cantidades aleatorias.
- Los parámetros poblacionales no son aleatorios. No se pueden hacer aseveraciones acerca de sus valores.
- Una muestra de la población es obtenida y el estadístico muestreado es calculado.
- La distribución probabilística del estadístico sobre todas las posibles muestras aleatorias de la población es determinado.
- Las afirmaciones probabilísticas que se pueden hacer sobre el estadístico basados en distribuciones muestrales se convierten en afirmaciones “confiables” sobre el parámetro, pero esta confiabilidad está basada en el comportamiento promedio sobre todas las posibles muestras.

La aproximación bayesiana se caracteriza por:

- Dada la incertidumbre de los verdaderos valores de los parámetros, los consideramos variables aleatorias.
- Afirmaciones sobre los parámetros deben ser interpretados como “grados de credibilidad o verosimilitud”.
- Las distribuciones *a priori* deben ser subjetivas y cada individuo tiene sus propias distribuciones *a priori* y contienen los pesos relativos que cada persona le da a cada valor posible del parámetro. Este mide que tan plausible, la persona considera cada valor que el parámetro tenga antes de observar los datos.
- La distribución *a posteriori* viene de dos fuentes, la distribución *a priori* y los datos.
- La distribución *a posteriori* y el uso del Teorema de Bayes, nos da los pesos relativos para cada parámetro después de su análisis.

- Las reglas de probabilidad son usadas directamente para hacer inferencias sobre los parámetros

Al momento de hacer una comparación se puede ver las ventajas de la aproximación bayesiana, que básicamente son una respuesta a las grandes críticas que se han realizado a la inferencia estadística clásica o frecuentista, las cuales se comentan a continuación:

- *Inferencias y predicciones*: La estadística Bayesiana permite inferencias o afirmaciones directas sobre los parámetros en lugar de inferencias confiables de estimaciones, es decir que no es necesario un intervalo de confianza para hacer inferencia. Además la estadística Bayesiana es predictiva no así la estadística frecuentista.

- *Herramientas y parámetros no deseados*: Las diferentes herramientas que presenta la estadística frecuentista, la hacen sumamente versátil, pero tiene la desventaja de hacer más complicada su aplicación e interpretación, mientras que la estadística bayesiana descansa en una sola herramienta, el teorema de Bayes, lo cual hace más simple su uso, y además tiene una manera directa y sencilla de tratar con los parámetros no deseados a diferencia de su contraparte frecuentista.

- *Las pruebas de significación dependen del tamaño de la muestra*: Una muestra reducida probablemente no será estadísticamente significativa; en cambio, una muestra de gran tamaño no tendrá muchos problemas en representar estadísticamente el universo al cual pertenece. De esto se deduce que los resultados obtenidos dependen, más que del propio objeto de estudio, de los recursos económicos disponibles para llevar a cabo el proyecto. La estadística bayesiana, sin embargo, no depende del tamaño muestral, aunque una muestra más grande permitirá valorar mejor la adecuación de las conclusiones a la realidad.

- *Las pruebas de hipótesis sirven sólo para tomar decisiones dicotómicas*: También se ha criticado que o se refuta la hipótesis nula o la alternativa, en lugar de poner el acento en la credibilidad de la adecuación de la hipótesis provisionalmente aceptada a la realidad empírica. De otro lado, la estadística bayesiana tiene un enfoque más rico, no

fundamentado en el tener que escoger entre dos hipótesis sino que lo que busca es valorar la credibilidad de éstas.

- *Información previa*: Otra de las críticas que ha recibido la estadística clásica reside en el hecho que no contempla el cuerpo de información disponible previo a la adquisición de los datos sobre los que se fundamenta un estudio. Lo único en lo que se centra la estadística clásica es la refutación ya sea de la hipótesis nula o de la hipótesis alternativa basándose en los datos presentes; de este modo, se desprecia toda la información, ya sea a nivel teórico o a nivel empírico, que se ha originado en el pasado. La estadística bayesiana, en cambio, no actúa en el vacío, el conocimiento previo (*priori*) que se tiene en cuenta, formal y explícitamente es aprovechado.

5.4.2 Probabilidad condicional

Se define a la probabilidad condicional como la probabilidad de que ocurra un evento A , sabiendo que o dado que ha ocurrido otro evento B , esta tiene como notación $P(A|B)$ y se lee “la probabilidad de A dado B ”.

La probabilidad condicional dado un espacio de probabilidad $(\Omega, \mathcal{F}, \mathbb{P})$ y dos eventos $A, B \in \mathcal{F}$ con $P(B) > 0$ se define como:

$$P(A|B) = \frac{P(B \cap A)}{P(B)} \quad (14)$$

5.4.3 Teorema de Bayes

De la fórmula de la probabilidad condicional (20) y para eventos independientes (donde se considera que A y B son independientes si: $P(A|B) = P(B)$ y por el uso de la regla multiplicativa si despejamos de la fórmula de probabilidad condicional tenemos que:

$$\begin{aligned} P(A \cap B) &= P(A) \times P(B) \\ P(A \cap \bar{B}) &= P(\bar{B}) \times P(A|\bar{B}) \end{aligned} \quad (15)$$

donde:

$$P(B|A) = \frac{P(B) \times P(A|B)}{P(B) \times P(A|B) + P(\bar{B}) \times P(A|\bar{B})} \quad (16)$$

por sustitución a la fórmula de la probabilidad condicional:

$$P(A | B) = \frac{P(B) \times P(B | A)}{P(B)} \quad (17)$$

Esta fórmula es conocida como el teorema de Bayes para dos eventos simples.

Y cuando sea $A = \{A_1, A_2, \dots, A_i, \dots, A_n\}$ un vector de n observaciones o un conjunto de sucesos excluyentes y tales que la probabilidad de cada uno de ellos es distinta de cero ($P(A) > 0$), y sea B un suceso cualquiera del que se conocen las probabilidades condicionales $P(B | A_i)$. Entonces, la probabilidad $P(A_i | B)$ viene dada por la expresión:

$$P(A_i | B) = \frac{P(B | A_i) P(A_i)}{P(B)} \quad (18)$$

Donde:

- $P(A_i)$ son las probabilidades *a priori*.
- $P(B | A_i)$ es la probabilidad de B en la hipótesis A_i .
- $P(A_i | B)$ son las probabilidades *a posteriori*.

A la ecuación anterior se lo conoce como el teorema de Bayes para n eventos, donde $P(B)$ es la distribución de la probabilidad marginal de B y puede ser expresada como:

$$P(B) \begin{cases} \int P(B | A_i) P(A_i) dA_i & \text{si } A_i \text{ es continuo} \\ \sum P(B | A_i) P(A_i) & \text{si } A_i \text{ es discreto} \end{cases} \quad (19)$$

donde la suma o integral es tomada sobre el espacio paramétrico de A . De este modo, el teorema de Bayes puede ser escrito como:

$$P(B | A_i) = c P(A_i | B) P(B) \approx P(A_i | B) P(B) \quad (20)$$

Donde: $P(A_i)$ representa lo que es conocido de **A** antes de recolectar los datos y es llamada la distribución *a priori* de **A**;

$P(B|A_i)$ representa lo que se conoce de **A** después de coleccionar los datos y es llamada la distribución posterior de **A** dado **B**;

c es una constante normalizadora necesaria para que $P(A|B)$ sume o integre uno.

Dado que el vector de datos B es conocido a través de la muestra, $P(B|A)$ es una función de A y no de B . En este caso a $P(B|A)$ se le denomina función de verosimilitud de A dado B y se le denota por $l(A|B)$. Entonces la fórmula de Bayes puede ser expresada como:

$$P(A_i|B) \approx l(A_i|B)P(A_i) \quad (21)$$

Nótese que es a través de $l(A_i|B)$ que los datos (información muestral) modifican el conocimiento previo de q dado por $P(A_i)$.

5.4.4 Naturaleza de la inferencia bayesiana

Dado que la distribución posterior, contiene toda la información concerniente al parámetro de interés A (información *a priori* y muestral), cualquier inferencia con respecto a A consistirá en afirmaciones hechas a partir de dicha distribución.

Estimación puntual

La distribución posterior reemplaza la función de verosimilitud como una expresión que incorpora toda la información. $\Pi(A|B)$ es un resumen completo de la información acerca del parámetro A . Sin embargo, para algunas aplicaciones es deseable (o necesario) resumir esta información en alguna forma. Especialmente, si se desea proporcionar un simple “mejor” estimado del parámetro desconocido. Una forma de enfrentar esta situación es mediante el uso del “Estimador de Bayes posterior”.

El estimador de Bayes posterior se define de la siguiente manera:

Sean $\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ una muestra aleatoria de $f(x|\theta)$, donde θ es un valor de la variable aleatoria θ con función de densidad $g_\theta(\cdot)$. El estimador de Bayes posterior de $\tau(\theta)$ con respecto a la *priori* $g_\theta(\cdot)$ es definida como $E(\tau(\theta)|x_1, x_2, \dots, x_n)$.

Factor de bayes

El factor de Bayes es la razón de la probabilidad de obtener datos que han ocurrido dado un evento, sobre la probabilidad de obtener datos que han ocurrido dado el complemento del evento. Es decir es el factor por el cual las probabilidades *a priori* son cambiadas a probabilidades *a posteriori*:

$$\text{probabilidades a priori (C)} \times B = \text{probabilidades a posteriori (C)} \quad (22)$$

Donde el factor Bayes B , contiene evidencia sobre los datos en D que ocurre relevante a la pregunta sobre la ocurrencia de C .

$$B = \frac{\text{Probabilidades a posteriori (C)}}{\text{Probabilidades a priori (C)}} \quad (23)$$

Esto se puede representar:

$$B = \frac{P(D|C)}{P(D|\bar{C})} \quad (24)$$

Esta ecuación es conocida como factor de Bayes.

5.4.5 Prueba t bayesiana y ANOVA bayesiano

El enfoque bayesiana ofrece ventajas incluso cuando el análisis que se va a ejecutar no es complejo, en el tradicional enfoque frecuentista una prueba t o un análisis de varianza (ANOVA; dos o más grupos) tendría como resultado un valor p que se interpreta como la probabilidad de los datos suponiendo que la hipótesis nula es verdadera. A menudo, la interpretación del valor p es abreviada y es interpretada como la indicación a favor o en contra de la hipótesis nula. Desde luego, una medida del tamaño del efecto como la d de Cohen (Cohen, 1988) también sería calculada para ofrecer una percepción en cuanto a la magnitud del efecto. La ventaja del Factor de Bayes es que la inferencia se incorpora de igual manera sobre la presencia de los efectos, así como de su magnitud (Wetzels *et al.*, 2011). Kass y Raftery (1995) definen al Factor de Bayes como “un sumario de la evidencia proporcionadas por los datos a favor de una teoría científica, representada por un modelo estadístico, en contra de otro”. En otras palabras el Factor de Bayes es un número, una proporción de las probabilidades de un modelo sobre las probabilidades de otro modelo. Otro modo de pensar sobre el significado del Factor de Bayes es que

estas probabilidades son el resultado de dividir la probabilidad de un modelo (p.ej. la hipótesis nula) por la probabilidad de otro modelo (p. ej. la hipótesis alternativa):

$$\text{Factor de bayes} = \frac{\text{Modelo 1 (Hipotesis nula)}}{\text{Modelo 2 (Hipotesis alterna)}} \quad (25)$$

Es decir la fracción simple o la división, en la cual la probabilidad de un modelo (nulo) es dividida por la probabilidad de un segundo modelo alternativo, y que por lo tanto su interpretación es muy franca. Por ejemplo, un Factor de Bayes de 1.00 representa probabilidades iguales para uno u otro modelo (las hipótesis nulas y alternativas), un Factor de Bayes mayor a 1.00 representa pruebas para un modelo (p.ej. la hipótesis nula), y un Factor de Bayes menor de 1.00 representa pruebas para otro modelo (p.ej. la hipótesis alternativa). La interpretación de magnitud para el Factor de Bayes, como estimaciones de tamaño de efecto tradicionales, implica algunas categorías flexibles sugeridas por Jeffreys, en 1961, que se resumen en la tabla 5.

Tabla 5: Resumen de la equivalencia del valor del Factor de Bayes sugerida por Jeffrey (1961).

Factor de Bayes mayor a 1 (Hipótesis Nula)	Factor de Bayes menor a 1 (Hipótesis Alternativa)	Equivalencia
De 1 a 3	De 1 a 0.30	Evidencia escasa de la probabilidad que sean diferentes
De 3 a 10	De 0.30 a 0.10	Evidencia sustancial de la probabilidad que sean diferentes
De 10 a 30	De 0.10 a 0.03	Evidencia fuerte de la probabilidad que sean diferentes
De 30 a 100	De 0.03 a 0.01	Evidencia muy fuerte de la probabilidad que sean diferentes
Más de 100	Menos de 0.01	Evidencia contundente de la probabilidad que sean diferentes
Igual a 1	Igual a 1	No se puede determinar la probabilidad de que sean diferentes

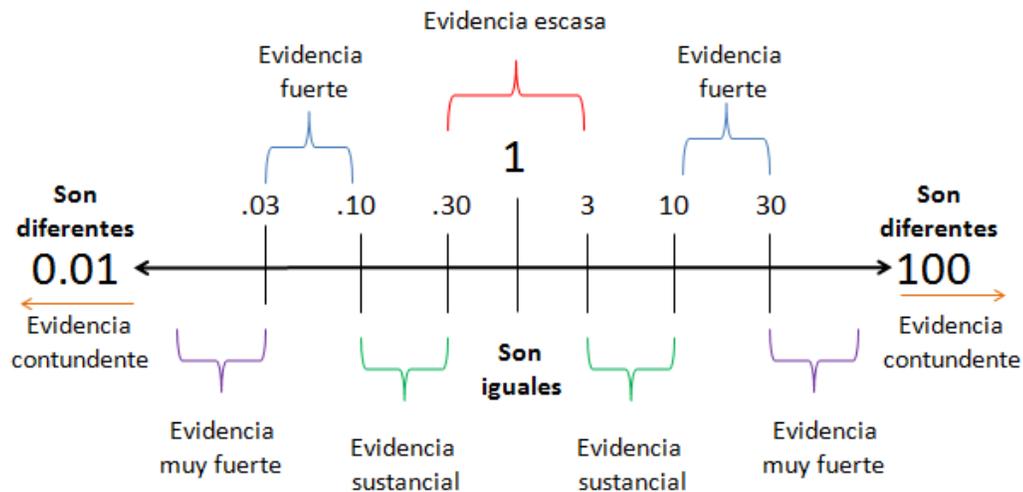


Figura 4: Resumen grafico para la interpretación del valor del Factor de Bayes.

5.5 TRABAJO DE CAMPO

Los datos para esta investigación fueron obtenidos de un trabajo previo en la zona de estudio, realizado de noviembre de 2011 a marzo de 2012, el cual llevó por título “Evaluación de la interacción de las pesquerías artesanales y las tortugas marinas, con énfasis en la tortuga Laúd (*Dermodochelys coriacea*) frente a las playas índice de anidación Tierra colorada, Guerrero y Cahuitán, Oaxaca”. El objetivo principal de este trabajo fue en una primera fase dar desde el punto de vista de las ciencias pesqueras un diagnóstico holístico usando una serie de metodologías cualitativas y cuantitativas, que permitiera entender y comprender la problemática y la forma en que opera el sector pesquero de las diferentes comunidades, así como sus interacciones pesqueras con las tortugas marinas en la zona de estudio. Para mayor información consúltese Bourillón *et al.* (2012).

5.6 Telemetría satelital

Con el fin de poder calibrar los kriging realizados en esta investigación se realizó una expedición al área de estudio durante el mes de octubre de 2013, al inicio de la temporada de anidación de tortuga laúd. Se realizaron recorridos nocturnos en las playas del Santuario Playa de Tierra Colorada, y Playa Cahuitán con el fin de localizar a las hembras en las etapas iniciales de anidación (antes de la puesta). En coordinación con el personal de la CONANP (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas) cada hembra se

identificó mediante marcas metálicas MONEL en las aletas posteriores y marcas electrónicas PIT. Se colocaron transmisores GPS/ARGOS en el caparazón de hembras anidando, usando una técnica de montaje directo en la quilla central, sin perturbar el proceso de anidación. Se utilizó el método de sujeción directa al caparazón descrito por Fossette *et al.* (2008)

5.6.1 Tipos de transmisores satelitales

Se utilizaron transmisores modelo Splash 10-F-295A, Ridgmount, Std depth range (modelo AM-A295A-AF de Wildlife Computers) (Fig. 4). Este se complementó con los servicios de tiempo de satélite de ARGOS durante la temporada de anidación.

Los transmisores tienen la capacidad de proporcionar la siguiente información durante un periodo aproximado de 5 meses:

- Localización a escala fina mediante sistema GPS
- Localización a mediano plazo mediante sistema ARGOS
- Profundidad y tiempo de inmersión de la tortuga
- Temperatura del agua

Se debe aclarar que para este estudio únicamente los datos de localización mediante sistema GPS serán considerados con el fin de cumplir con los objetivos de la investigación.

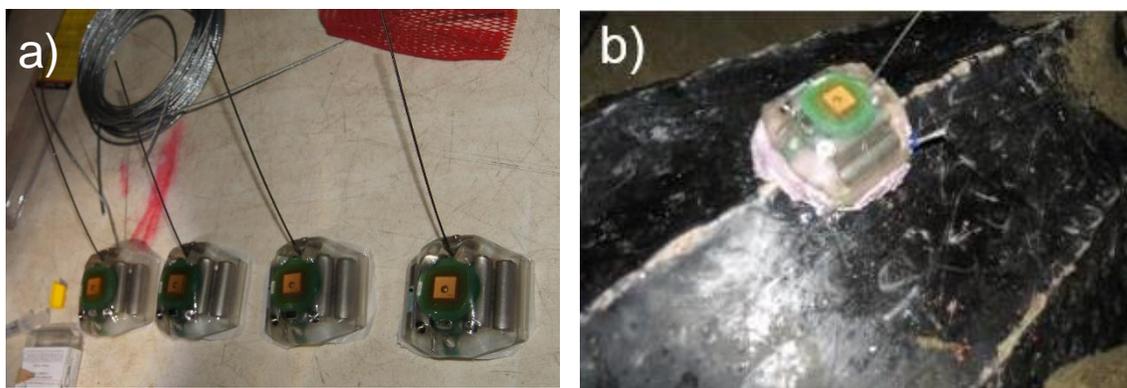


Figura 5: Transmisor modelo 10-F-295A, Ridgmount. b) Instalación completa del transmisor sobre la quilla de la tortuga Laúd.

5.7 Análisis de datos

Se filtraron de la base de datos general obtenida de Bourillón *et al.* (2012), los datos correspondientes a cada una de las variables a considerar de las pesquerías y las especies de tortuga marina, únicamente se estandarizaron los valores cuando fue necesario para una mejor interpretación y se eliminaron los datos correspondientes a sitios de pesca que no tenían referencia en las bitácoras. De igual manera no se toman en cuenta los datos con geolocalización errónea, es decir, aquéllas que por razones geográficas se pueden demostrar como equivocadas. Para el caso de zonas que son consideradas como parte de otras, con doble nombramiento o con una única salida de pesca, se reajustaron a las zonas más cercanas con el fin de anexar o desechar dichas áreas (Tabla 6). Finalizando con 27 áreas que fueron consideradas en esta investigación y con su respectivo código utilizado en los análisis siguientes (Tabla 7).

Tabla 6: Reajuste de zonas registradas por motivos de doble nombramiento o por sobre posición de zonas.

Nombre original	Zona a la que se unifico	Nombre original	Zona a la que se unifico
Morro corralero	Corralero	Tierra colorada	Los paredones
Las 44	Bajo	Arroyo Ancho	Los paredones
Las 17	Bajo	Barra salitre	La Barrita
El tanque	Corralero		

Tabla 7 : Sitios de pesca considerados para esta investigación y el código correspondiente.

No	Zona de pesca	Código	No	Zona de pesca	Código	No	Zona de pesca	Código
1	Bajo	BAJO	11	Culebra	CULE	21	Pico de gil	PGIL
2	Barco hundido	BAHU	12	Frente al faro	FARO	22	Pie de bajo	PIBA
3	Boba	BOBA	13	La barrita	LABA	23	Piedra ahogada	PIAH
4	Cahuitán	CAHU	14	Las 18	LA18	24	Salema	SALE
5	Calavera	CALV	15	Las 23	LA23	25	Tamarindos	TAMA
6	Ciruelo	CIRU	16	Las 24	LA24	26	Tártaro	TART
7	Corralero	CORR	17	Llano grande	LANO	27	Tecoyame	TECO
8	El cala	ELCA	18	Los lirios	LIRI			
9	El encanto	ELEN	19	Los paderones	PADE			
10	Faro viejo	FAVI	20	Mogote	MOGO			

Todas las pruebas estadísticas se realizaron con ayuda del software Primer 6.1, Statistica 6.0, y GNU-R 3.1, para los mapas se utilizó Matlab 7.7, mientras que las pruebas geoestadísticas (kriging) se realizaron con ayuda de The GLOBEC Kriging Software Package – EasyKrig3.0 y para los mapas correspondientes a telemetría satelital de tortuga Laúd se utilizaron los programas de Satellite Tracking and Analysis Tool (STAT) y Maptool mediante la página oficial de la organización Seaturtle (SEATURTLE.ORG Maptool. 2002.)

6. RESULTADOS

6.1 Regiones por abundancia de especies

Se realizó un análisis de conglomerado o cluster para las 27 zonas de pesca en términos de la abundancia de especies capturada con el propósito de agruparlas por regiones, es importante mencionar que el propósito de esto es hacer grupos, sin importar que existan grupos con mayor o menor porcentaje de similitud, pues para ello se llevan a cabo las pruebas estadísticas para reafirmar si en realidad son un solo grupo y su similitud es suficiente para unirlos. Al mismo tiempo se realizó un análisis de escalamiento multidimensional o MDS para el mismo propósito y de manera comparativa. Debido a que los datos no permitieron una clara identificación de los resultados, probablemente debido a las escalas y presencia de ceros, se decidió estandarizar los datos para ambos análisis a considerar y por lo tanto en toda la tesis se trabajaron datos estandarizados.

El análisis de conglomerados en términos de la abundancia de especies capturadas señala cinco regiones (Figura 5). De igual manera se realizó un análisis MDS para tratar de confirmar los grupos sugeridos (Figura 6). En este se pueden observar que a una disimilitud del 35% (línea verde) al 50% (línea azul) las zonas de pesca se agrupan de 4 a 6 regiones, pero en algunos de los casos se sobreponen lo cual dificulta una clara observación.

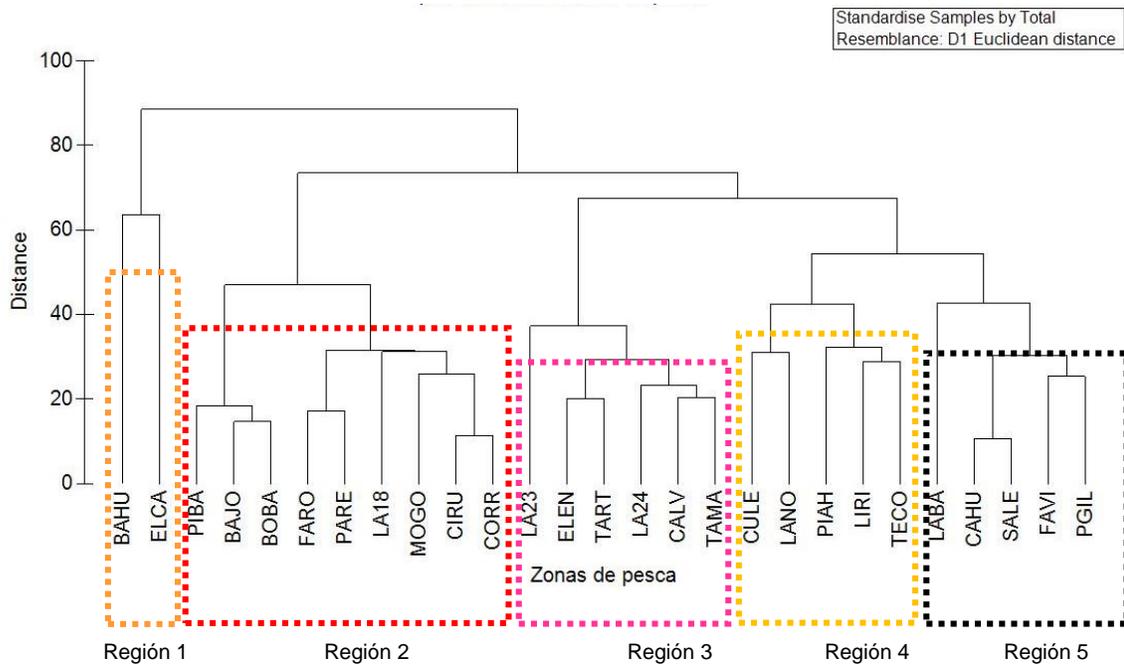


Figura 6: Regiones sugeridas por el análisis de conglomerados en términos de la abundancia.

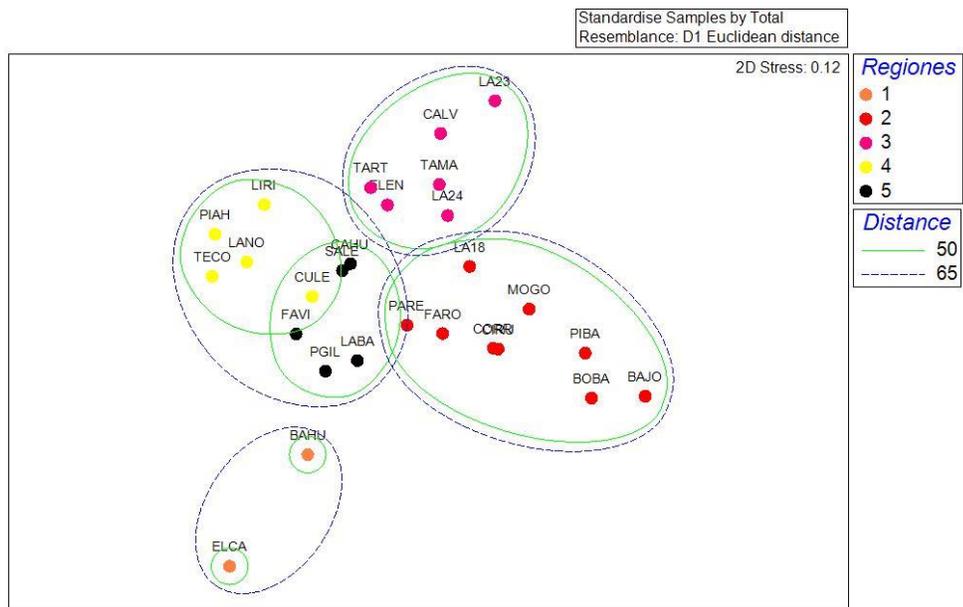
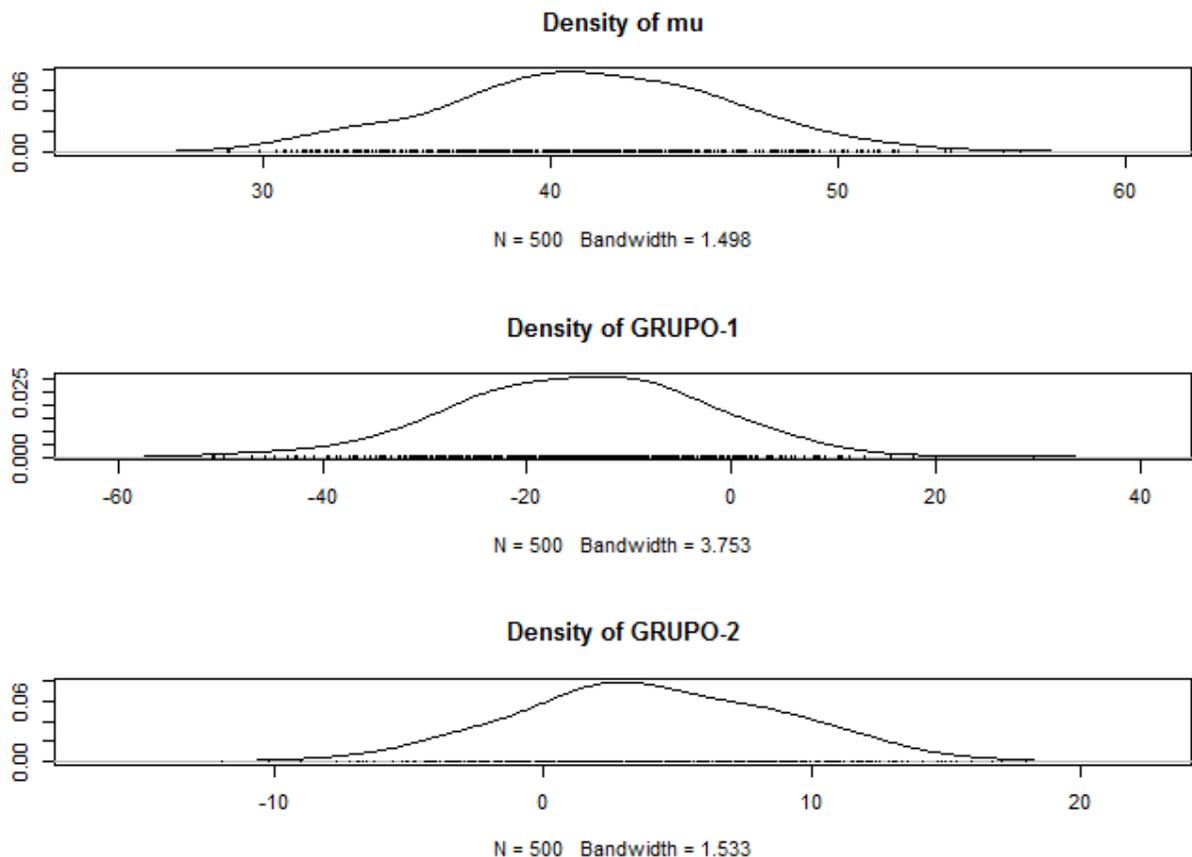


Figura 7: Análisis MDS de las zonas de pesca en términos de la abundancia.

Con el propósito de verificar si las regiones son diferentes entre sí, se tomaron dos aproximaciones.

Primero, se utilizó la aproximación de la estadística frecuentista, mediante la prueba no paramétrica (Kruskal-Wallis) debido a que los datos no cumplieron con los supuestos de normalidad ni homogeneidad de varianzas. Los resultados indicaron que existen diferencias significativas entre los grupos con un valor $p < 0.001$.

Como segundo término se utilizó la aproximación de la estadística bayesiana con un análisis de varianza (ANOVA), con un factor de Bayes = 148.77, con el cual se puede determinar que existen una contundente evidencia de que los grupos sean diferentes. En la figura 8 se representa la distribución posterior del o de los parámetros del modelo específicos. En el entendido de que la primera grafica representa la densidad de MU para todos los datos, y entre más variación tenga ésta con las densidades por cada una de las regiones, más será la diferencia entre éstas.



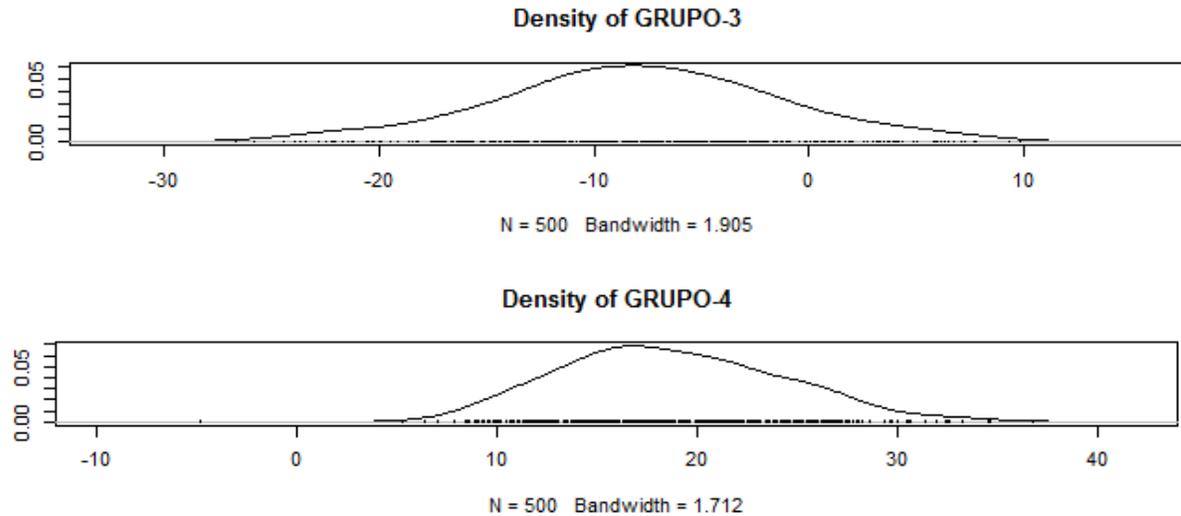


Figura 8: Distribución posterior de las densidades por grupo y en promedio general.

Para poder determinar entre que grupos existen diferencias estadísticas, se realizaron pruebas a posteriori para la aproximación frecuencista, las cuales indican que el grupo 1 presenta diferencias estadísticamente significativas con respecto al grupo 2 y 5 ($p < 0.02$) mientras que los grupos 2, 3, 4 y 5 no presentan diferencias estadísticas ($p > 0.10$) (ver tabla 8). En resumen la estadística frecuencista solo permite determinar dos regiones estadísticamente diferentes, una compuesta por el grupo 1, y otra compuesta por los grupos 2, 3, 4 y 5.

De igual manera para el caso de la aproximación bayesiana se realizaron pruebas t bayesianas para determinar que regiones presentan diferencias estadísticas (ver tabla 8). Bajo el supuesto de que se consideran con diferencias significativas a los valores de Bayes que se encuentren dentro del rango de 0.65 a 1.5 a menos que estas se puedan justificar por estar muy cerca de los límites establecidos y sean apoyadas por otros factores. Para este análisis se tiene el siguiente resultado:

La región 1 presenta escasa evidencia de ser diferente con el resto de los grupos.

La región 2 presenta escasa evidencia de ser diferente de las regiones 3 y 5, además también presenta una muy fuerte evidencia de ser diferente del grupo 4.

La región 3 muestra una escasa evidencia de ser diferente de la región 4, y una evidencia sustancial de ser diferente con la región 5.

La región 4 presenta un valor dentro del rango establecido para no determinar diferencias por lo que se le considera estadísticamente igual a la región 5.

Tabla 8: Resumen comparativo de la prueba posterior frecuentista (valor p) y de los valores de las pruebas t bayesianas (valor del factor de bayes), para determinar diferencias entre grupos. Los valores marcados en rojo representan diferencias estadísticas.

Frecuentista	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4	Bayesiana	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4
Grupo 2	0.023				Grupo 2	2.525			
Grupo 3	0.341	0.758			Grupo 3	2.668	2.875		
Grupo 4	0.350	1	1		Grupo 4	0.522	69.633	1.695	
Grupo 5	0.005	1	0.109	0.505	Grupo 5	1.553	0.673	6.382	0.610

En resumen, dado que una de las finalidades de ese trabajo es poder caracterizar y explicar las variaciones geográficas dentro de la zona de estudio, la aproximación bayesiana ofrece una mejor alternativa que su contraparte frecuentista debido a las limitaciones que presentaron los datos (tamaño de muestra pequeño, falta de normalidad y homogeneidad de varianzas) lo que no permitió una clara diferenciación de las zonas. Con base en esto, se decidió utilizar los resultados de la pruebas bayesianas que determinan cuatro regiones geográficas en términos de la abundancia de especies, a las cuales se les referirá como AB1, AB2, AB3 y AB4 de aquí en adelante.

Para poder dilucidar la distribución espacial de las regiones, se muestra en la figura 9 la geolocalización de dichas regiones dentro del área de estudio. Además se muestran por separado el mapa de cada una de las regiones y las gráficas correspondiente a los porcentajes de abundancia para las principales especies pescadas en cada una de ellas.

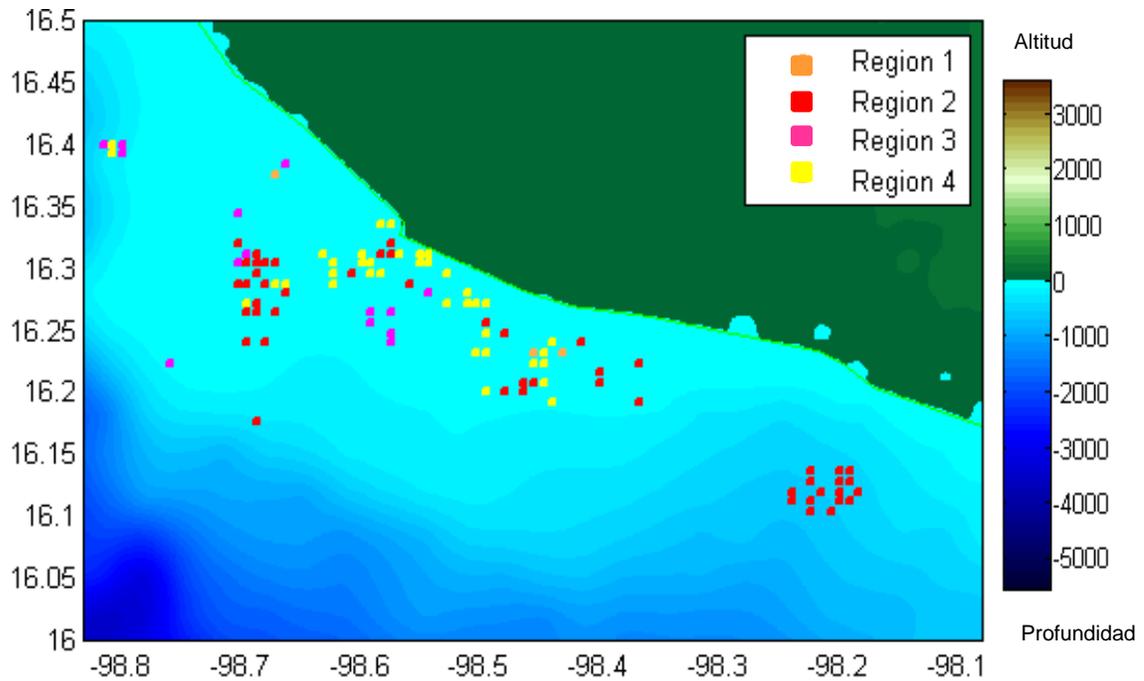


Figura 9: Ubicación geográfica de las regiones determinadas en términos de la abundancia de especies, dentro del mapa

La región 1 también denominada AB1 para el resto del estudio, está formada por las zonas BAHU y ELCA, geográficamente no son cercanas, pero se encuentran relativamente cercanas a la costa y en aguas someras. Estas se caracteriza por una mayor abundancia de langosta (*Panulirus gracilis*) como la principal especie comercial (figura 10).

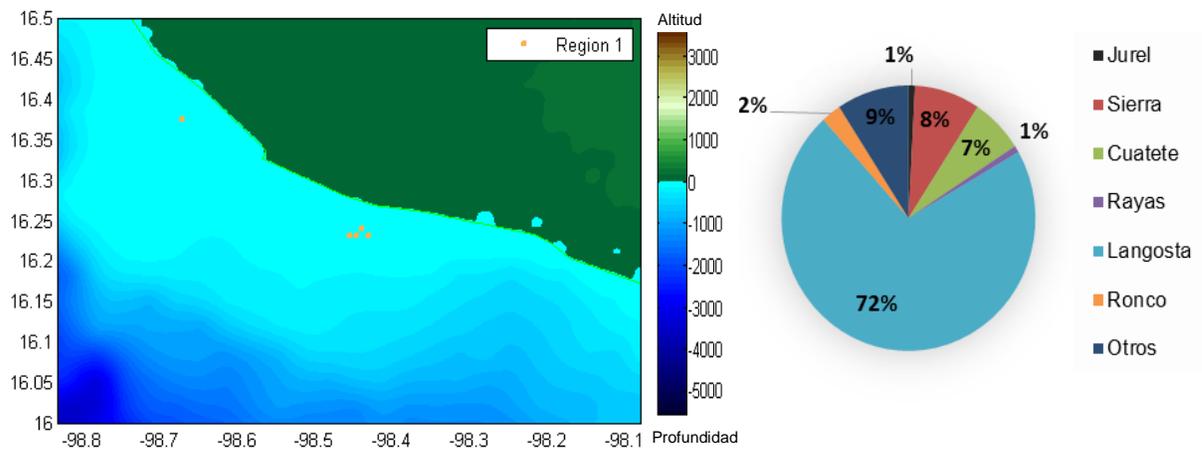


Figura 10: Mapa de ubicación y gráfica de las principales especies en la región AB1 en términos de abundancia de especies.

La región 2, también denominada AB2 para el resto del estudio, está formada por las zonas PIBA, BAJO, BOBA, CORR, FARO, PARE, LA18, MOGO y CIRU. Geográficamente se presentan dos sub-zonas, una conglomerada en la parte izquierda por la zona de CORR, y la otra más dispersa por todas las demás. Estas se caracterizan por una mayor abundancia de huachinango (*Lutjanus peru*) como la principal especie comercial (figura 11)

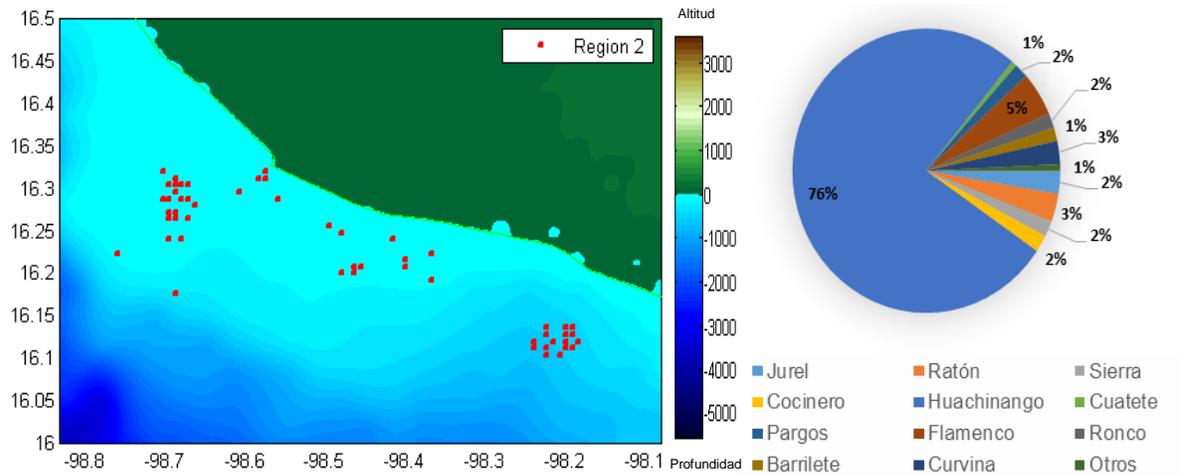


Figura 11: Mapa de ubicación y gráfica de las principales especies en la región AB2 en términos de abundancia de especies.

La región 3, también denominada AB3 para el resto del estudio, está formada por las zonas LA 23, ELEN, TART, LA24, CALV y TAMA. Geográficamente esta región se distribuye de manera agregada en la zona noroeste del área de estudio, se caracterizan por una mayor abundancia de flamenco (*Lutjanus guttatus*) como la principal especie comercial (figura 12).

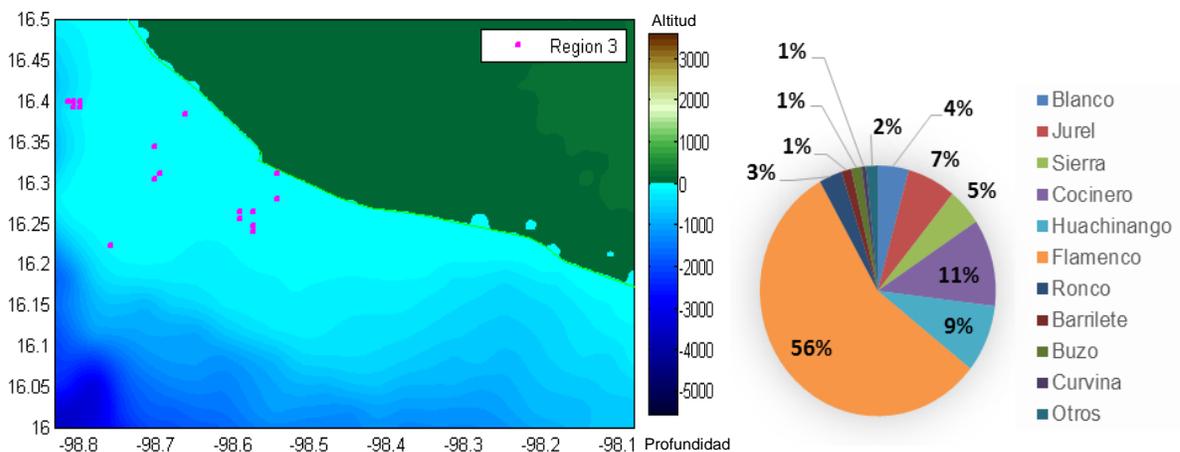


Figura 12: Mapa de ubicación y gráfica de las principales especies en la región AB3 en términos de su abundancia de especies.

La región 4, también denominada AB4 para el resto del estudio, esta formada por las zonas de pesca CULE, LANO, PIHA, LIRI, TECO, LABA, CAHU, SALE, FAVI y PGIL. La principal especie comercial de la región es cocinero (*Caranx caballus*) como se muestra en la figura 13.

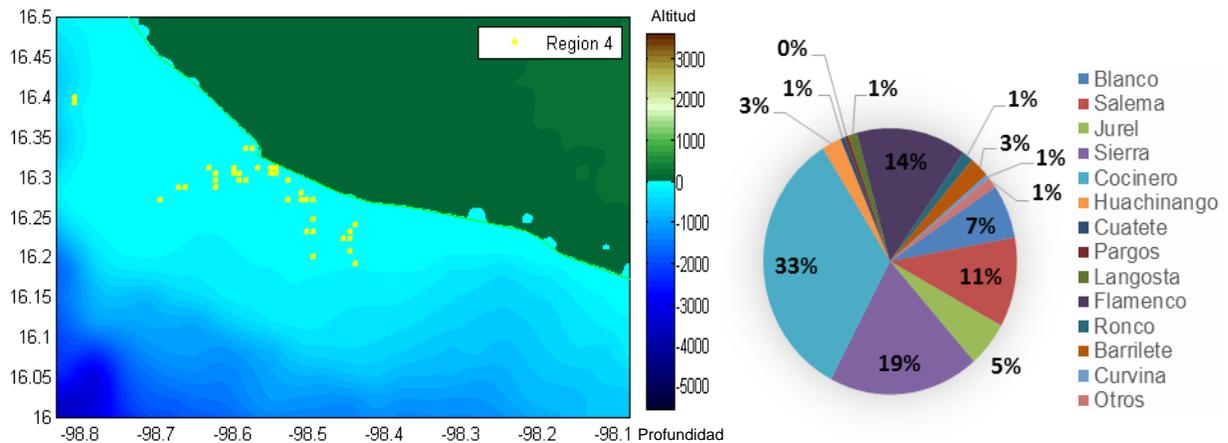


Figura 13: Mapa de ubicación y gráfica de las principales especies en la región AB4 en términos de su abundancia.

6.2 Regiones por avistamiento de especies de tortugas marinas

Para poder determinar regiones en términos del avistamiento de especies de tortuga marina. Primeramente se buscó poder asociar a las tres especies de tortuga marina, Laúd (*Dermochelys coriácea*), Golfina (*Lepidochelys olivacea*) y Prieta (*Chelonia mydas*); con las seis principales pesquerías artesanales, huachinango (*Lutjanus peru*), flamenco (*Lutjanus guttatus*), sierra (*Scomberomorus sierra*), blanco (*Caulolatilus princeps*), cocinero (*Caranx caballus*) y langosta (*Panulirus gracilis*). Para dicho fin, se realizó un análisis de conglomerados entre dichas especies, comparando el número de avistamientos por tortuga (sin importar el tipo de interacción) con la captura total de las especies principales, con el único tratamiento de estandarización de datos para una mejor interpretación. Éste análisis sugiere que la tortuga laúd muestra estar asociada con la pesca de huachinango, mientras que la tortuga golfina y prieta muestran una asociación la pesquería de blanco (figura 14). De igual manera se realizó un análisis MDS para tratar de confirmar los grupos sugeridos (figura 15). En éste se pueden ver las asociaciones mencionadas.

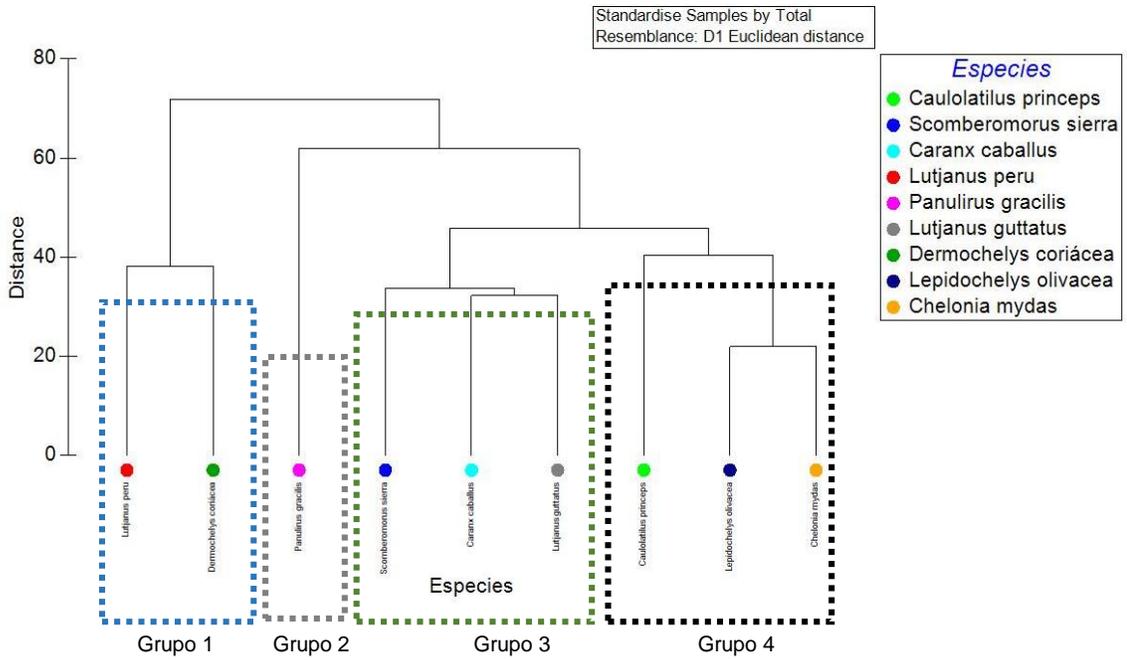


Figura 148: Grupos sugeridos por el análisis de conglomerados en términos de asociación entre las principales especies de tortuga y las principales especies de pesca.

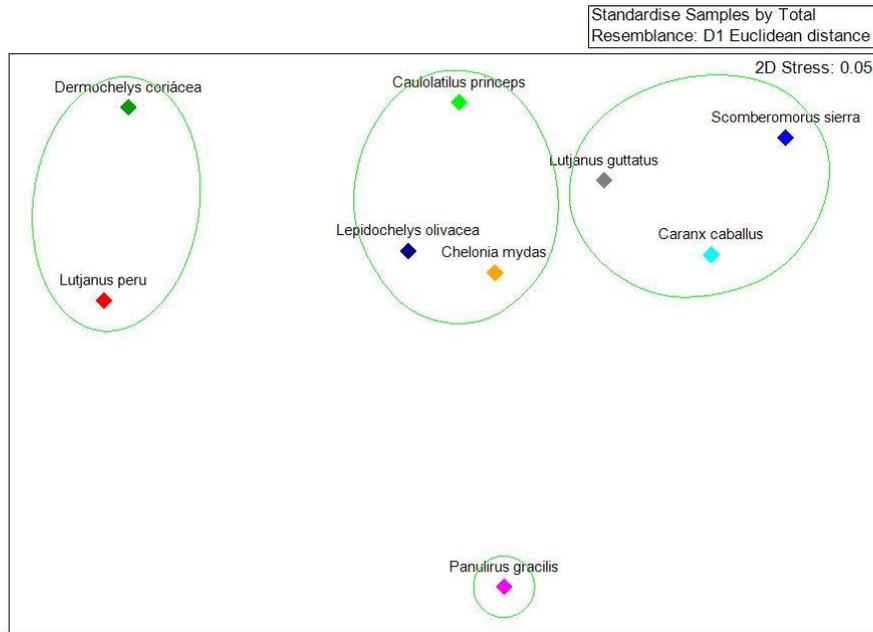
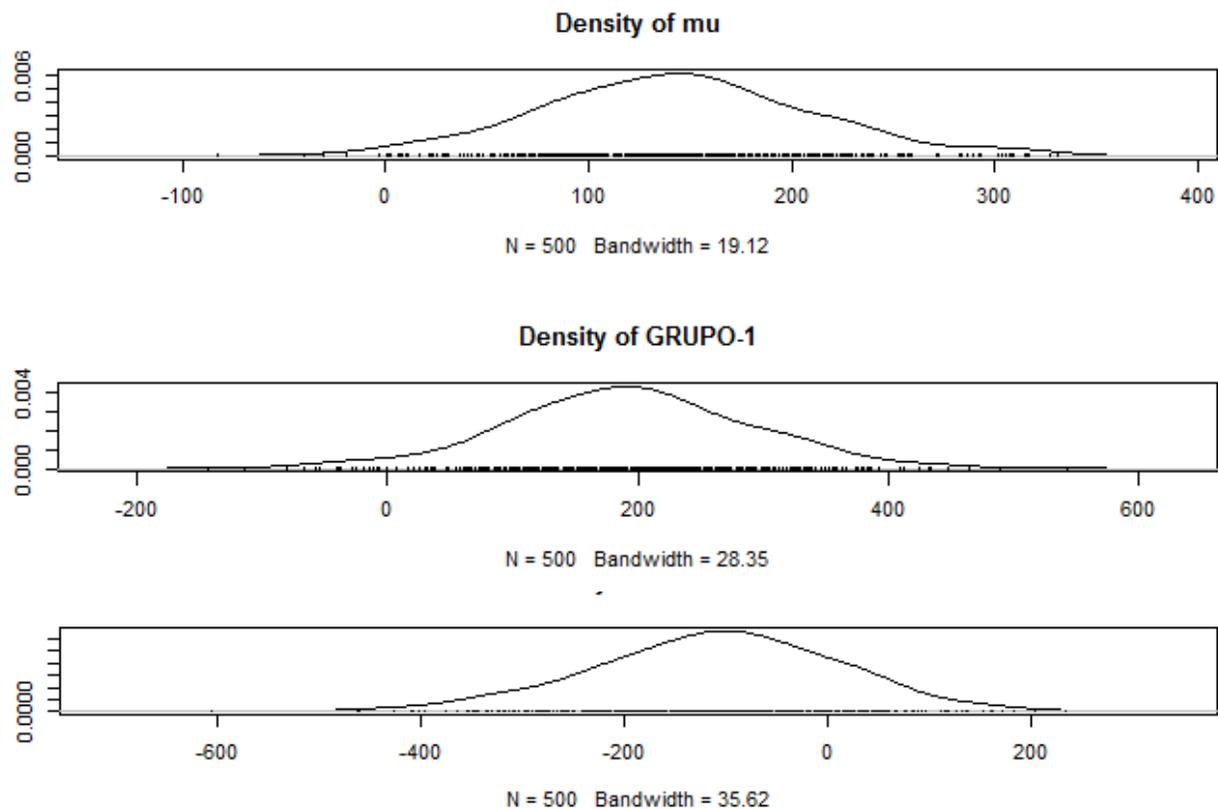


Figura 15: Regiones sugeridas por el análisis MDS en términos de asociación entre las principales especies de tortuga y las principales especies de pesca.

Para dilucidar si estos grupos son iguales estadísticamente, se tomaron dos aproximaciones:

Primero, se utilizó la aproximación de la estadística frecuentista, mediante la prueba no paramétrica (Kruskal-Wallis) debido a que los datos no cumplieron con los supuestos de normalidad ni homogeneidad de varianzas. Los resultados indicaron que existen diferencias significativas entre los grupos con un valor $p < 0.001$.

Como segundo término se utilizó la aproximación de la estadística bayesiana con un análisis de varianza (ANOVA), con un factor de Bayes = 0.364, con el cual se puede determinar que existen una escasa evidencia de que sean diferentes. En la figura 16 se representa la distribución posterior del o de los parámetros del modelo específicos. En el entendido de que la primera grafica representa la densidad de MU para todos los datos, y entre más variación tenga ésta con las densidades por cada una de las regiones, más será la diferencia entre éstas.



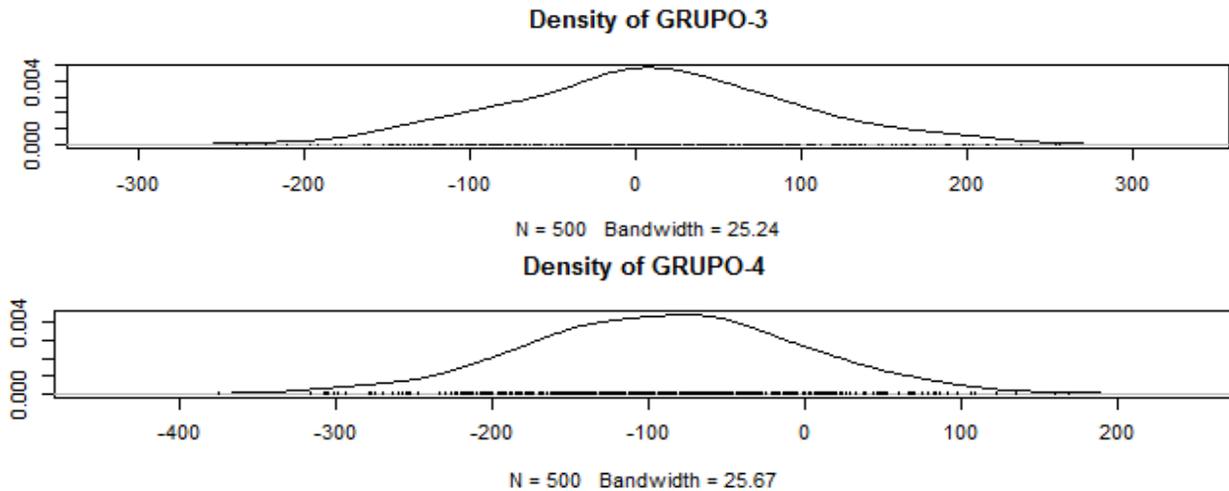


Figura 16: Distribución posterior de las densidades por grupo y en promedio general

Para poder determinar entre que grupos existen diferencias estadísticas, se realizaron pruebas a posteriori para la aproximación frecuencista, las cuales indican que únicamente el grupo 3 presenta diferencias estadísticamente significativas con respecto a todos los demás, con un valor de $p < 0.05$ (ver tabla 9). En resumen se puede decir que la estadística frecuencista diferencia únicamente al grupo 3 lo cual indicaría que existen dos grupos, uno compuesto por el grupo antes mencionado y el otro por los demás. Sin embargo, el grupo 3 está compuesto sólo por especies de pesca, lo cual no permite distinguir entre los grupos restantes una asociación específica con alguna de las especies de tortuga marina.

De igual manera para el caso de la aproximación bayesiana se realizaron pruebas t bayesianas para determinar que regiones presentan diferencias estadísticas (ver tabla 9). Para este análisis se tiene el siguiente resultado:

El grupo 1 tiene escasa evidencia de diferencia con el grupo 2 y el grupo 4, y evidencia sustancial de diferencia con el grupo 3.

El grupo 2 para esta investigación se considera estadísticamente igual al grupo 3 con un valor muy cercano a 1.

Y finalmente, el grupo 3 presenta evidencia sustancial de diferencia con grupo 4.

En resumen, la aproximación bayesiana permite distinguir 3 agrupaciones, la primera compuesta por el grupo 1, la segunda por el grupo 2 y 3 y la tercera por el grupo 4.

Tabla 9: Resumen comparativo de la prueba posterior frecuentista (valor p) y de los valores de las pruebas t bayesianas (valor del factor de bayes), para determinar diferencias entre grupos. Los valores marcados en rojo representan diferencias estadísticas.

Frecuentista	Grupo	Grupo	Grupo	Bayesiana	Grupo	Grupo	Grupo
	1	2	3		1	2	3
Grupo 2	1			Grupo 2	0.363		
Grupo 3	8.9e- 05	0.001		Grupo 3	0.280	1.003	
Grupo 4	1	1	0.0001	Grupo 4	0.582	0.327	4.068

La finalidad de este análisis era determinar si algunas de las especies de tortuga marina están asociadas a una de las principales especies de pesca comercial, por lo cual este análisis sugiere que la mayor probabilidad de asociación se dan entre las especies que forman el grupo 1 (Huachinango y Laúd) y el grupo 4 (Blanco, Golfina y Prieta) estas asociaciones serán usadas para la determinación de regiones en el análisis en términos del avistamiento de especies, que se explica a continuación.

Se realizó un análisis de conglomerados y un MDS para las 26 zonas de pesca en términos de avistamiento por especies para poder determinar las regiones por esta variable, para ello se utilizaron las asociaciones determinadas en el análisis anterior.

El análisis de conglomerados para esta variable se realizó con el único tratamiento de estandarización para una mejor interpretación, este sugiere 4 posibles regiones (figura 17). De igual manera se realizó un análisis MDS para tratar de confirmar los grupos sugeridos (figura 18). En éste se pueden ver las agrupaciones mencionadas.

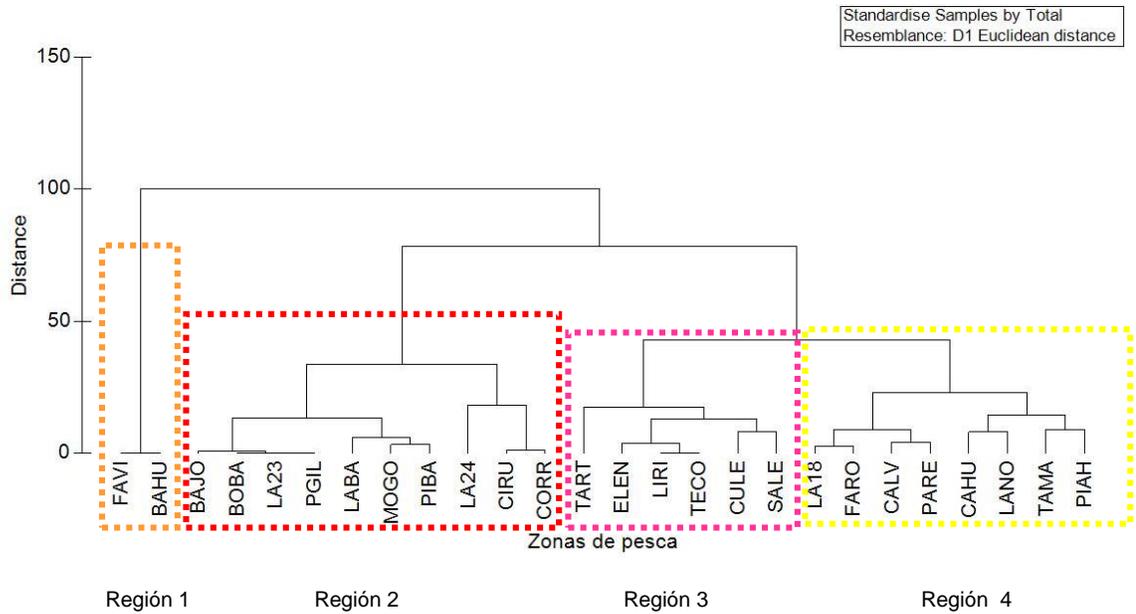


Figura 17: Grupos sugeridos por el análisis de conglomerados en términos de avistamiento de especies.

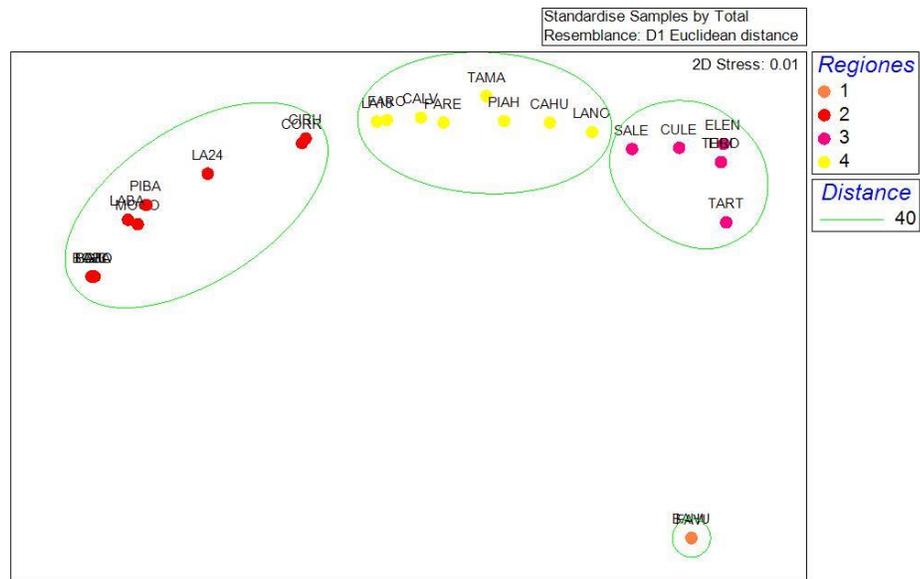


Figura 18: Regiones sugeridas por el análisis MDS en términos de avistamiento de especies.

Para dilucidar si estos grupos son iguales estadísticamente se tomaron dos aproximaciones:

Primero, se utilizó la aproximación de la estadística frecuentista, mediante la prueba no paramétrica (Kruskal-Wallis) debido a que los datos no cumplieron con los supuestos de normalidad ni homogeneidad de varianzas. Los resultados indicaron que no existen

diferencias significativas entre los grupos con un valor $p > 0.05$. En este punto se puede decir que a la estadística frecuentista no le es posible determinar diferencias significativas entre las zonas de pesca, a pesar de que las pruebas clúster y MDS sugieren grupos distintos.

Como segundo término se utilizó la aproximación de la estadística bayesiana con un análisis de varianza (ANOVA), con un factor de Bayes = 0.201 con el cual se puede determinar que existen una sustancial evidencia de que sean diferentes. En la figura 19 se representa la distribución posterior del o de los parámetros del modelo específicos. En el entendido de que la primera grafica representa la densidad de MU para todos los datos, y entre más variación tenga ésta con las densidades por cada una de las regiones, más será la diferencia entre éstas.

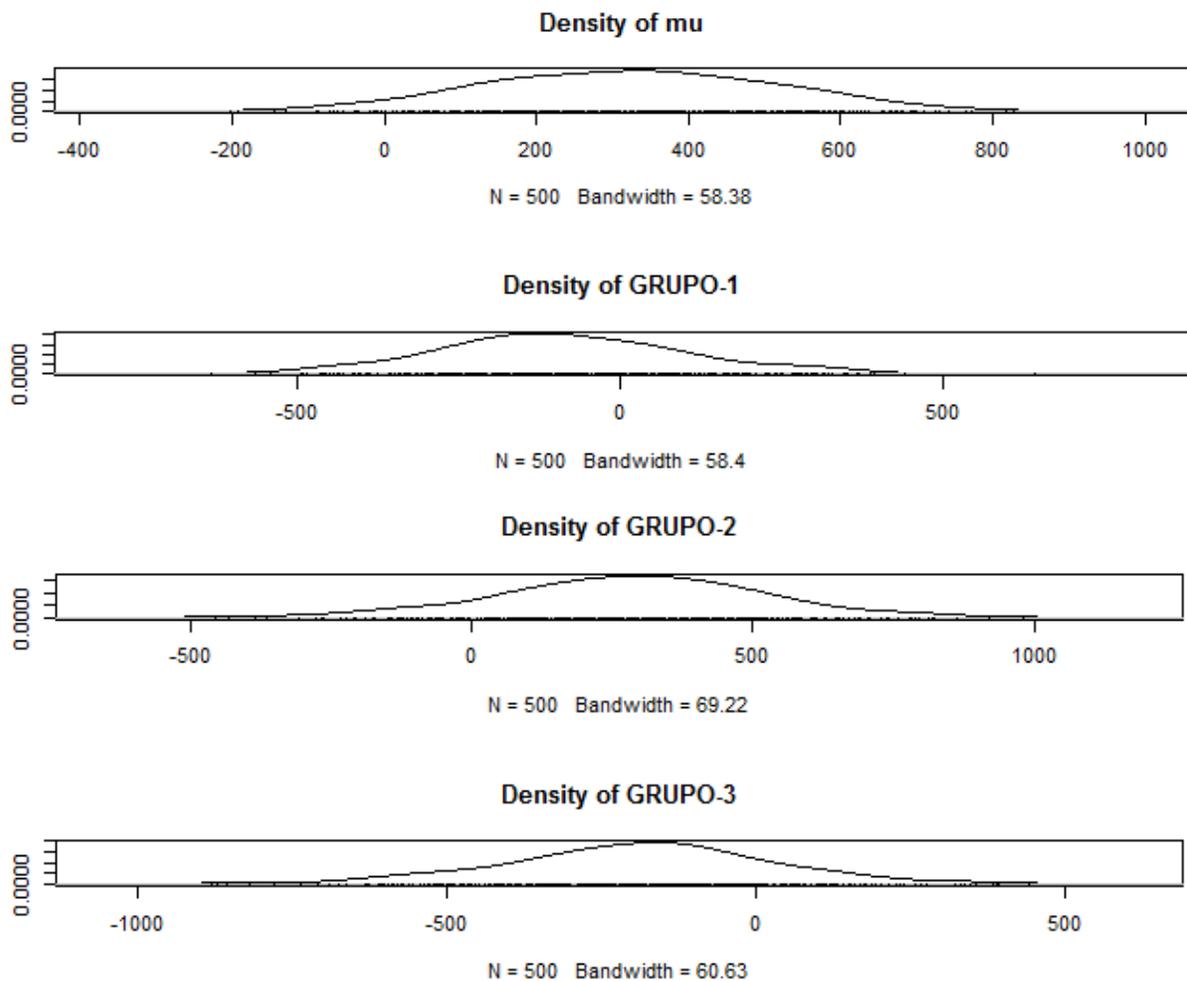


Figura 19: Distribución posterior de las densidades por grupo y en promedio general.

Para poder determinar entre que grupos existen diferencias estadísticas, se realizaron pruebas a posteriori para la aproximación frecuentista, dichas pruebas corroboran que no muestran diferencias significativas entre grupos (ver tabla 10).

De igual manera para el caso de la aproximación bayesiana se realizaron pruebas t bayesianas para determinar que regiones presentan diferencias estadísticas (ver tabla 10). Bajo el supuesto de que se consideran con diferencias significativas a los valores de Bayes que se encuentren dentro del rango de 0.65 a 1.5 a menos que estas se puedan justificar por estar muy cerca de los límites establecidos y sean apoyadas por otros factores. Para este análisis se tiene el siguiente resultado:

El grupo 1 presenta una evidencia escasa de ser diferente del grupo 2, pero como los valores con los grupos 3 y 4 se encuentran dentro del rango de tolerancia establecido se les consideran estadísticamente iguales al grupo 1.

El grupo 2 presenta una evidencia escasa de ser diferente con los grupos 3 y 4.

Y finalmente el grupo 3 muestra evidencia escasa de ser diferente del grupo 4.

Tabla 10: Comparativo de la prueba posterior frecuentista (valor p) y de los valores de las pruebas t bayesianas (valor del factor de bayes), para determinar diferencias entre grupos. Los valores marcados en rojo representan diferencias estadísticas.

Frecuentista	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Bayesiana	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3
Grupo 2	1			Grupo 2	0.349		
Grupo 3	1	1		Grupo 3	0.747	0.426	
Grupo 4	1	0.147	1	Grupo 4	0.840	0.440	0.325

En resumen, la aproximación bayesiana determina que existen tres regiones, una bien definida por el grupo 2 y las otras compuestas por los grupos 1, 3 y 4. Sin embargo, debido a que los grupos 3 y 4 presentan diferencias entre ellas, el grupo 1 fue considerado igual al grupo 4 por tener un valor menor de la probabilidad de ser diferente (0.84). Esto obliga a repetir la prueba de ANOVA, pero ahora considerando las tres nuevas regiones.

Se realizó nuevamente la prueba de ANOVA con un factor de Bayes = 0.405 con el cual se puede determinar que existen una escasa evidencia de que sean diferentes, y se

realizaron pruebas t bayesianas para determinar que regiones presentan diferencias estadísticas (ver tabla 11). Para este análisis se tiene el siguiente resultado:

El grupo 1 presenta una evidencia escasa de ser diferente del grupo 2 y 3.

El grupo 2 presenta una evidencia escasa de ser diferente del grupo 3.

Tabla 1112: Resumen de los valores de cada grupo en las pruebas t bayesianas (valor del factor de bayes), para determinar diferencias entre grupos. Los valores marcados en rojo representan diferencias estadísticas.

	Grupo 1	Grupo 2
Grupo 2	0.442	
Grupo 3	0.536	0.296

Las pruebas t bayesianas, demuestran que las tres regiones presentan escasa evidencia de ser diferentes entre ellas, por lo cual se corrobora que existen 3 regiones diferentes a las cuales se les referirá como AV1, AV2, y AV3 de aquí en adelante.

Para poder dilucidar la distribución espacial de las regiones se muestra en la figura 20 la geolocalización de dichas regiones dentro del área de estudio. Además, se muestran por separado el mapa de cada una de las regiones y las gráficas correspondientes a los porcentajes del tipo de interacciones entre las pesquerías artesanales y las tres especies de tortuga marina.

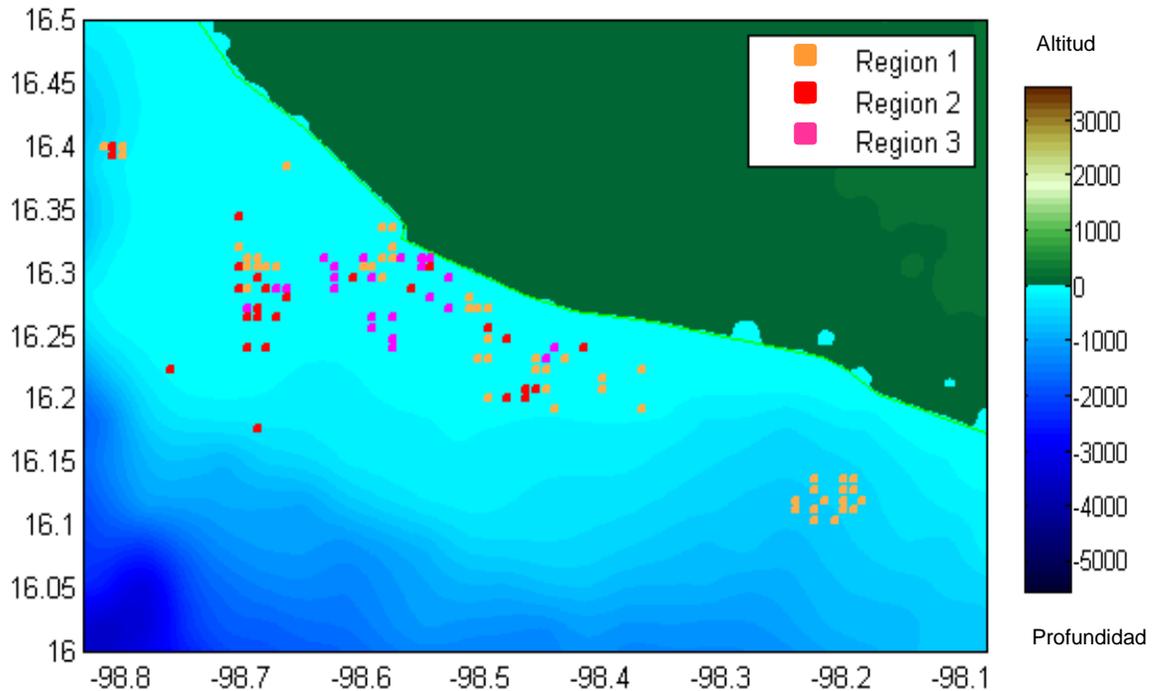


Figura 20: Regiones determinadas en términos de los avistamientos de especies de tortuga marina.

La región 1 también denominada AV1 para el resto del estudio está formada por la zona de BAHU, FAVI, LA24, CIRU, CORR, PARE, CALV, LA18, FARO, PIAH, LANO, CAHU y TAMA. Se caracteriza por tener una mayor probabilidad de la asociación Laúd-huachinango (figura 21).

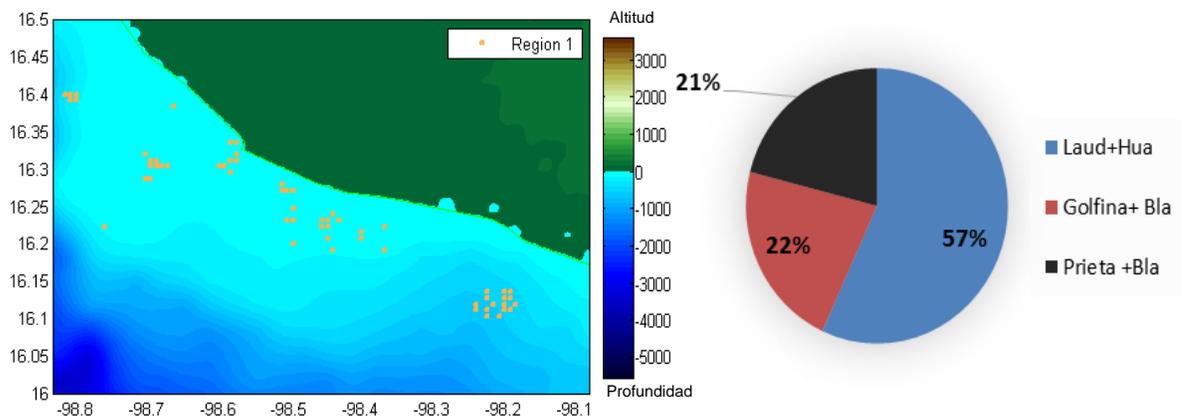


Figura 21: Mapa y grafica de la región AV1 en términos de los avistamientos de especies de tortuga marina.

Una vez obtenida la región geográfica AV1 se realizó un kriging para poder obtener una estimación de la probabilidad de la asociación para cada una de las tres asociaciones a lo largo de toda la región (Figura 22, 24 y 26), cada una de ellas con un resumen de sus características (Tablas 12, 13 y 14). En el kriging correspondiente a la asociación Laúd-huachinango, se puede observar que existe una mayor probabilidad de encontrar a estas especies en la parte sureña donde se ubican las zonas de CORR, seguido por las zonas de LA18, LA24 y LANO.

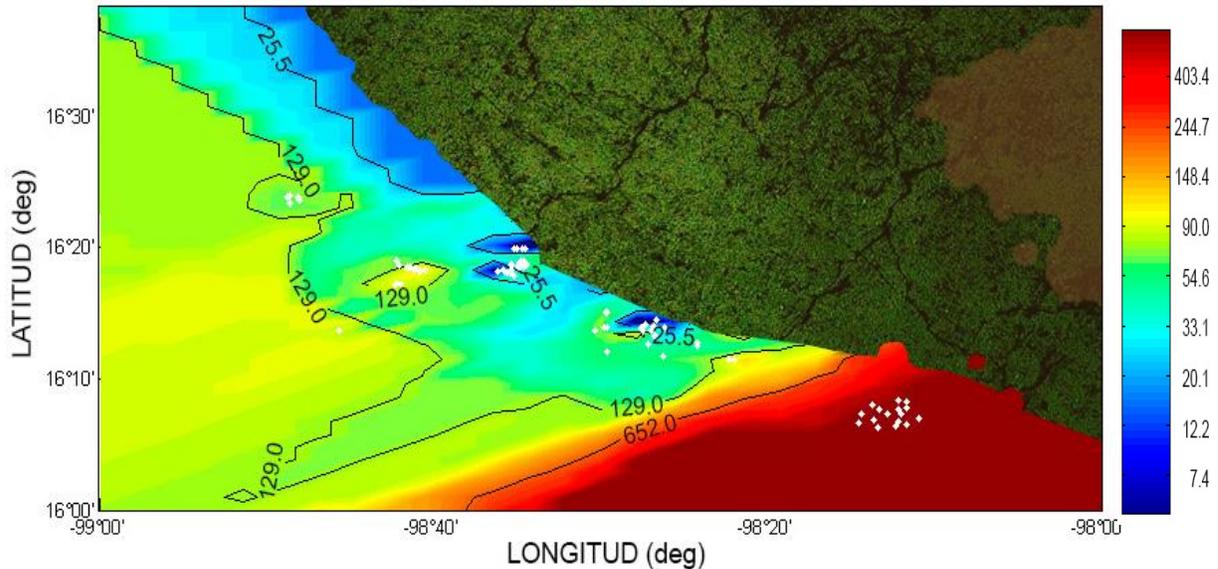


Figura 22: Kriging realizado para región AV1 con base en la asociación de Laúd-Huachinango, los puntos en blanco representan la ubicación de los puntos georreferenciados y la escala a los valores predichos por el kriging.

Tabla 12: Resumen de las características usadas en el análisis kriging de la región AV1 con base en la asociación de Laúd-Huachinango.

Características del variograma	
Preparación de datos	88 puntos georreferenciados, con transformación $\ln(z+1)$, ordenados de manera longitudinal de menor a mayor
Tipo de modelo de ajuste para el variograma	Modelo esférico
Tipo de kriging	Ordinario, punto por punto. Media de los residuales = -0.138 Varianza de los residuales = 0.640
Validación	Error de la estimación $(\sigma/\sqrt{n}) = \pm 1.06$ Estimación de los puntos observados vs. Puntos predichos (Figura 22)

Nota: Validación a un intervalo de confianza al 95%.

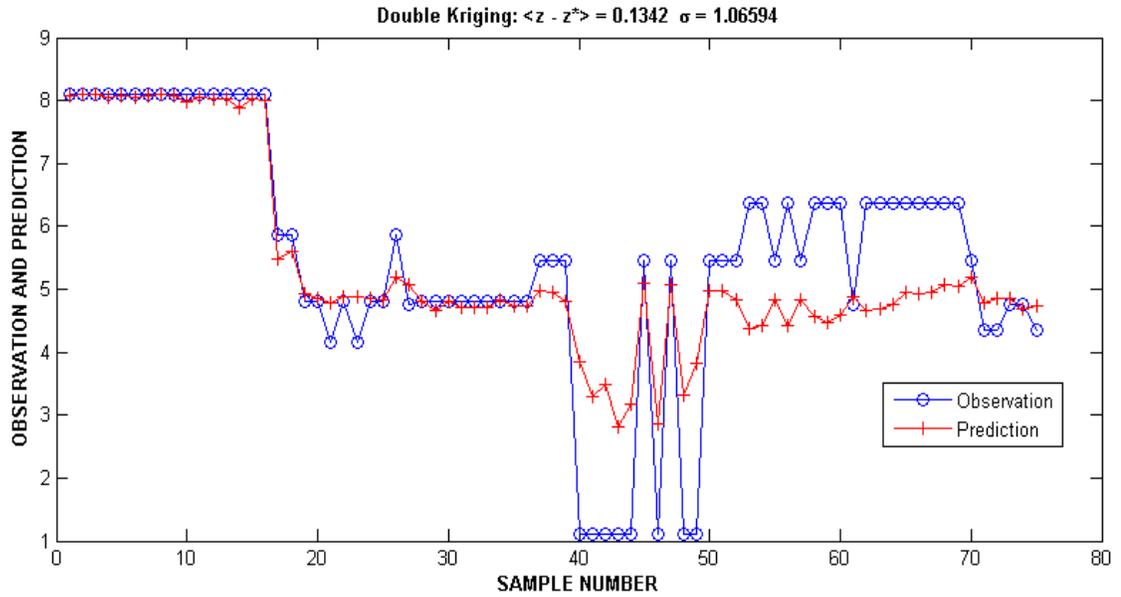


Figura 23: Grafica de valores observados vs. Valores predichos por el kriging de la región AV1 con base en la asociación de Laúd-Huachinango.

En el kriging correspondiente a la asociación Golfina-Blanco, se puede observar que existe una mayor probabilidad de que esta ocurra en la parte sureña donde se ubican las zonas de CORR.

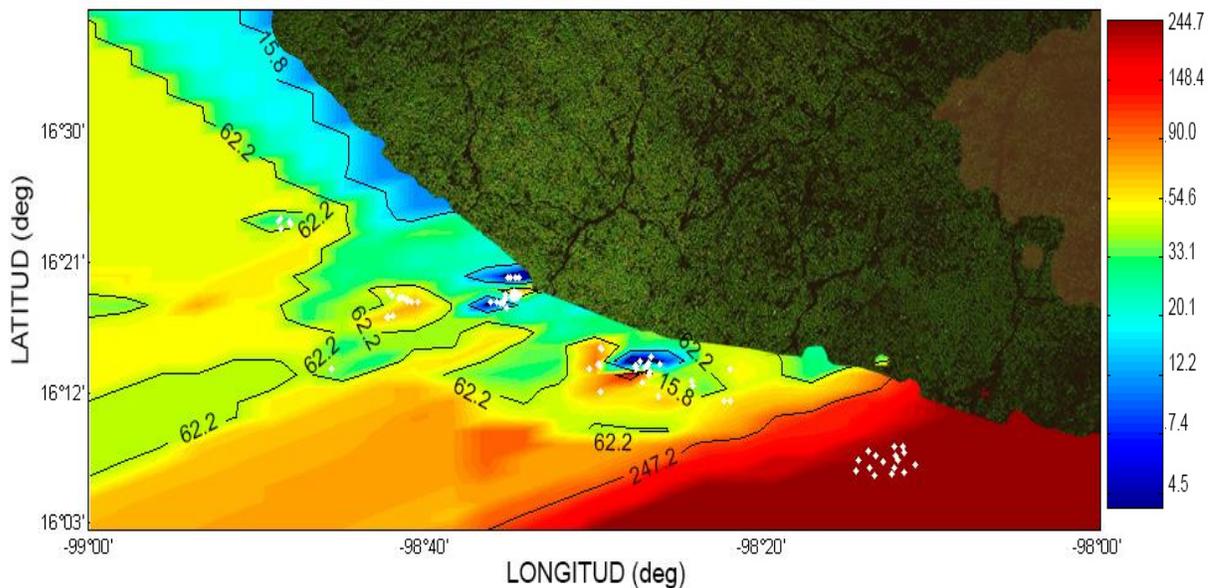


Figura 24: Kriging realizado para región AV1 con base en la asociación de Golfina-Blanco, los puntos en blanco representan la ubicación de los puntos georeferenciados y la escala a los valores predichos por el kriging

Tabla 13 : Resumen de las características usadas en el análisis kriging de la región AV1 con base en la asociación de Golfina-Blanco.

Características del variograma	
Preparación de datos	88 puntos georreferenciados, con transformación $\ln(z+1)$, ordenados de manera longitudinal de menor a mayor
Tipo de modelo de ajuste para el variograma	Modelo esférico
Tipo de kriging	Ordinario, punto por punto. Media de los residuales = -0.141 Varianza de los residuales = 0.071
Validación	Error de la estimación $(\sigma/\sqrt{n}) = \pm 1.16$ Estimación de los puntos observados vs. Puntos predichos (Figura 24)

Nota: Validación a un intervalo de confianza al 95%.

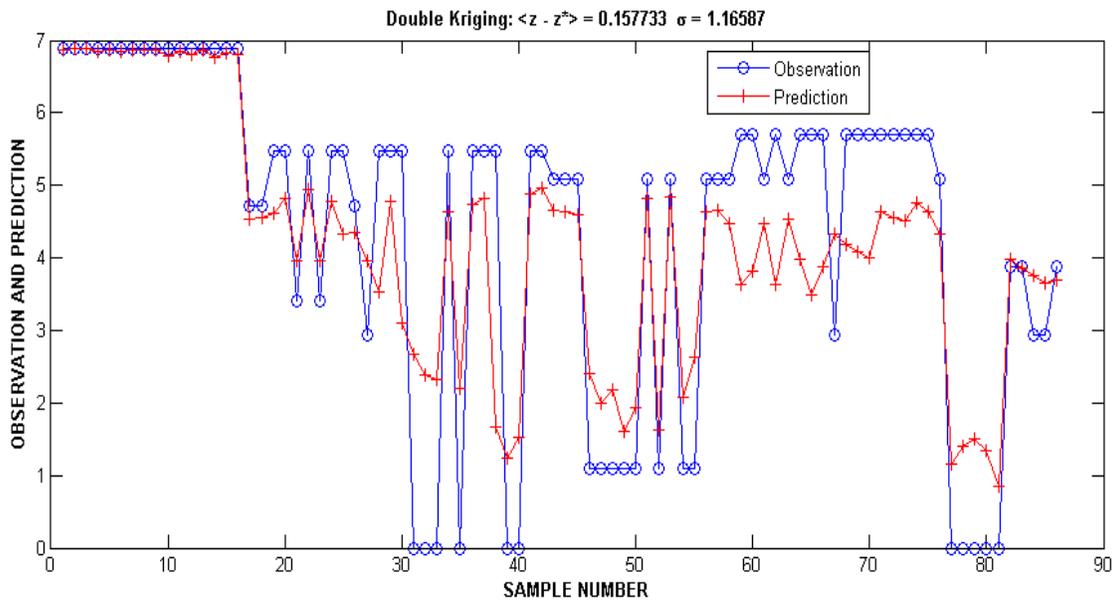


Figura 25: Grafica de valores observados vs. valores predichos por el kriging de la región AV1 con base en la asociación de Golfina-Blanco.

En el kriging correspondiente a la asociación Prieta-Blanco, se puede observar que existe una mayor probabilidad de que esta ocurra en la parte sureña donde se ubican las zonas de CORR.

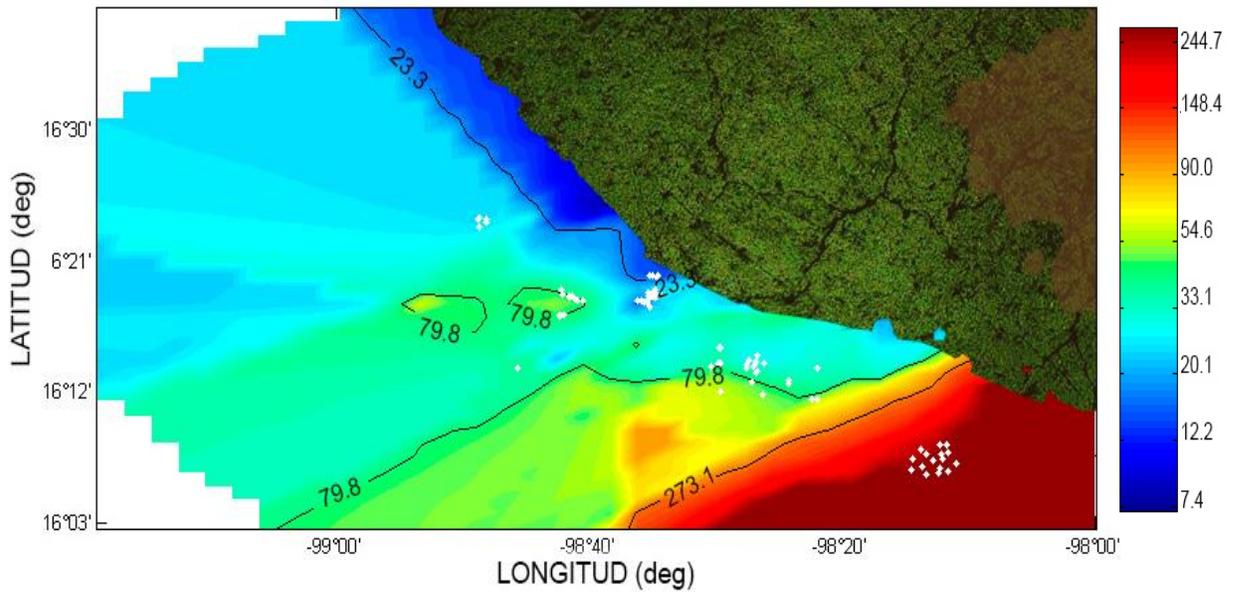


Figura 26: Kriging realizado para región AV1 con base en la asociación de Prieta-Blanco, los puntos en blanco representan la ubicación de los puntos georreferenciados y la escala a los valores predichos por el kriging.

Tabla 14: Resumen de las características usadas en el análisis kriging de la región AV1 con base en la asociación de Prieta-Blanco.

Características del variograma	
Preparación de datos	88 puntos georreferenciados, con transformación $\ln(z+1)$, ordenados de manera longitudinal de menor a mayor
Tipo de modelo de ajuste para el variograma	Modelo lineal
Tipo de kriging	Ordinario, punto por punto.
Validación	Media de los residuales = -0.092 Varianza de los residuales = 0.738 Error de la estimación (σ/\sqrt{n}) = ± 1.64 Estimación de los puntos observados vs. Puntos predichos (Figura 26)

Nota: Validación a un intervalo de confianza al 95%.

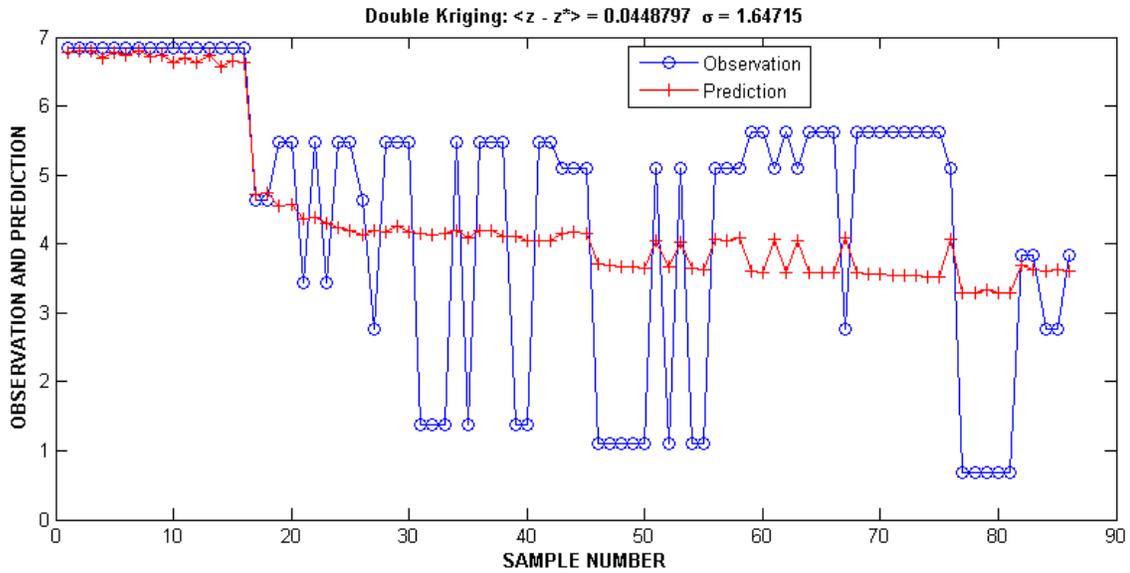


Figura 27: Grafica de valores observados vs. valores predichos por el kriging de la región AV1 con base en la asociación de Prieta-Blanco.

La región 2, también denominada AV2 para el resto del estudio, está formada por las zonas de PGIL, BAJO, LA23, BOBA, LABA, MOGO y PIBA. Se caracteriza por tener una fuerte probabilidad de la asociación Laúd-huachinango (figura 28).

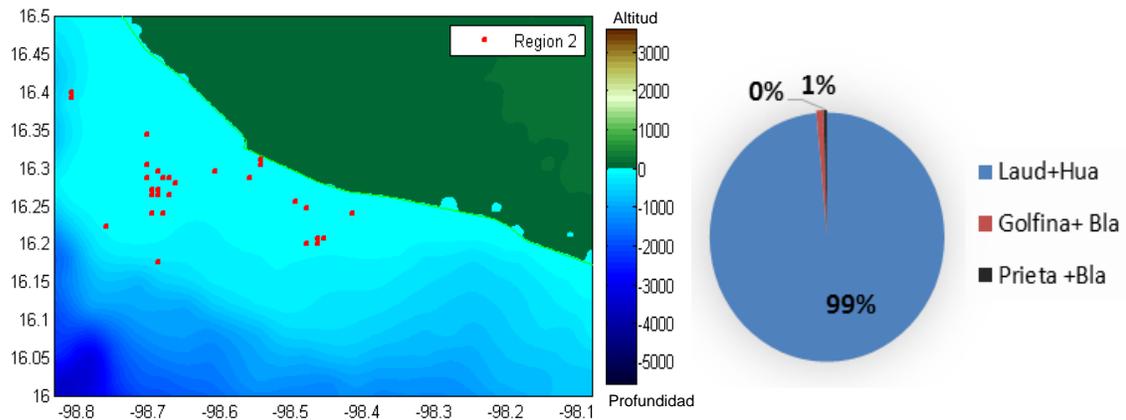


Figura 28: Mapa y grafica de la región AV2 en términos de los avistamientos de especies de tortuga marina.

Una vez obtenida la región geográfica AV2 se realizó un kriging para poder obtener una estimación de la probabilidad de la asociación Laúd-Huachinango (Figura 29), para esta región en particular no se consideró necesario el kriging de las otras asociaciones debido a su baja incidencia. En este kriging se puede observar que existe una mayor probabilidad de encontrar a estas especies en la parte centro donde se ubican las zonas de BAJO y LA24.

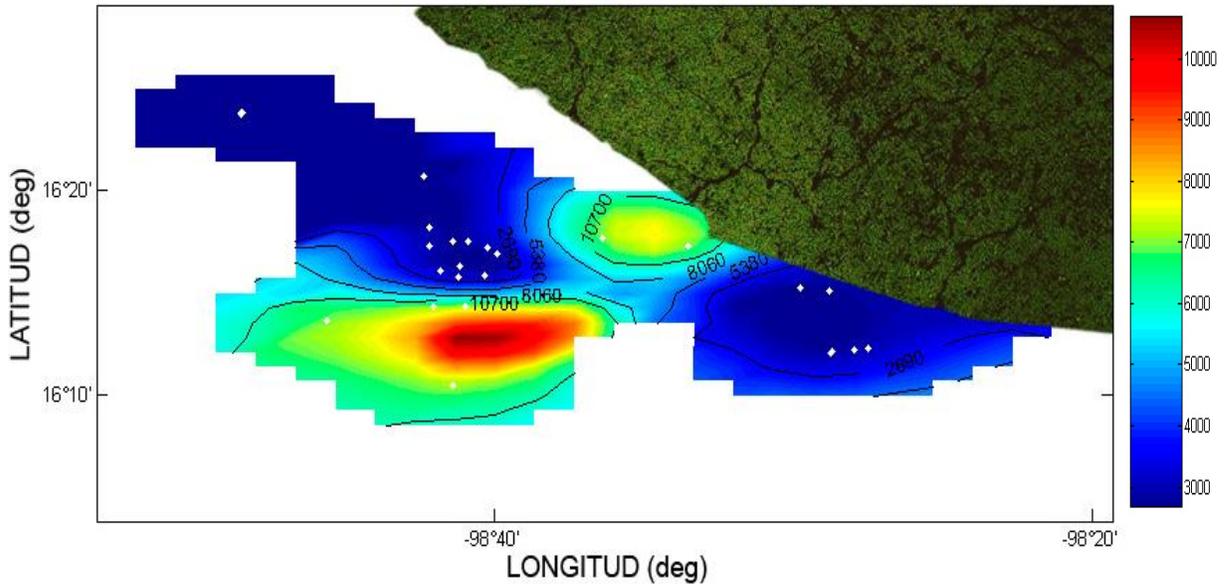


Figura 29: Kriging realizado para región AV2 con base en la asociación de Laúd-Huachinango, los puntos en blanco representan la ubicación de los puntos georreferenciados y la escala a los valores predichos por el kriging.

Tabla 15: Resumen de las características usadas en el análisis kriging de la región AV2 con base en la asociación de Laúd-Huachinango.

Características del variograma	
Preparación de datos	52 puntos georreferenciados, ordenados de manera longitudinal de menor a mayor
Tipo de modelo de ajuste para el variograma	Modelo gaussiano
Tipo de kriging	Ordinario, punto por punto. Media de los residuales = -0.150 Varianza de los residuales = 1.105
Validación	Error de la estimación (σ/\sqrt{n}) = ± 324.63 Estimación de los puntos observados vs. Puntos predichos (Figura 29)

Nota: Validación a un intervalo de confianza al 95%.

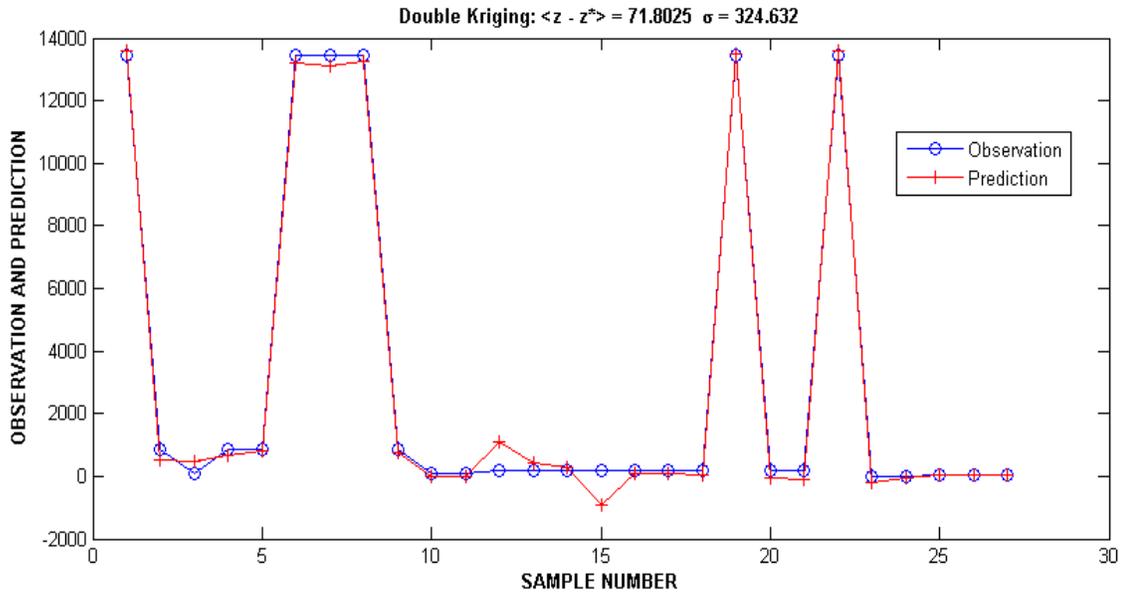


Figura 30: Grafica de valores observados vs. valores predichos por el kriging de la región AV2 con base en la asociación de Laúd-Huachinango.

La región 3, también denominada AV3 para el resto del estudio, está formada por la zona de TART, ELEN, LIRI, CULE, TECO y SALE. Se caracteriza por tener una probabilidad muy semejante de la asociación Golfina-Blanco y Prieta-Blanco (figura 31).

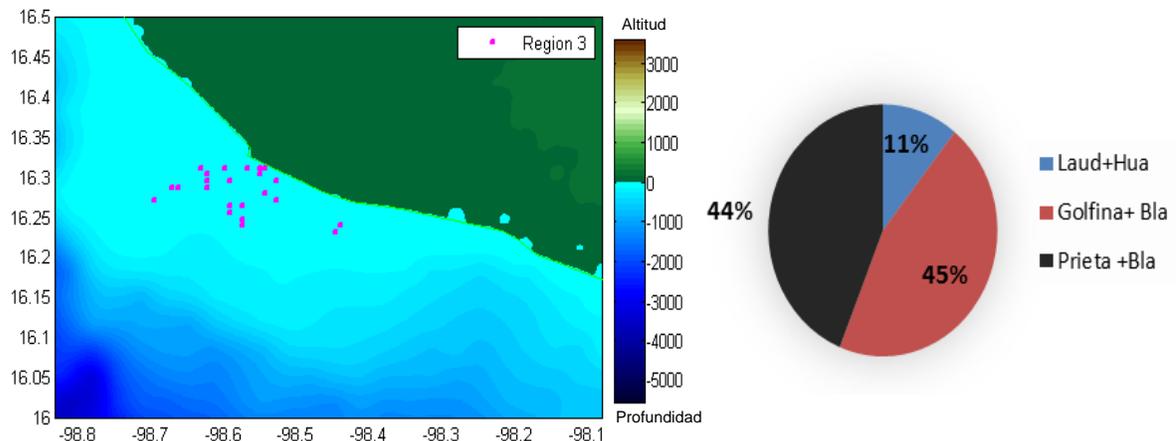


Figura 31: Mapa y grafica de la región AV3 en términos de los avistamientos de especies de tortuga marina.

Una vez obtenida la región geográfica AV3 se realizó un kriging para poder obtener una estimación de la probabilidad de la asociación para cada una de las tres asociaciones a

lo largo de toda la región (Figura 32, 34 y 36), cada una de ellas con un resumen de sus características (Tablas 16, 17 y 18). En el kriging correspondiente a la asociación Laúd-huachinango, se puede observar que existe una mayor probabilidad concentrada en las zonas de SALE, ELEN y LIRI.

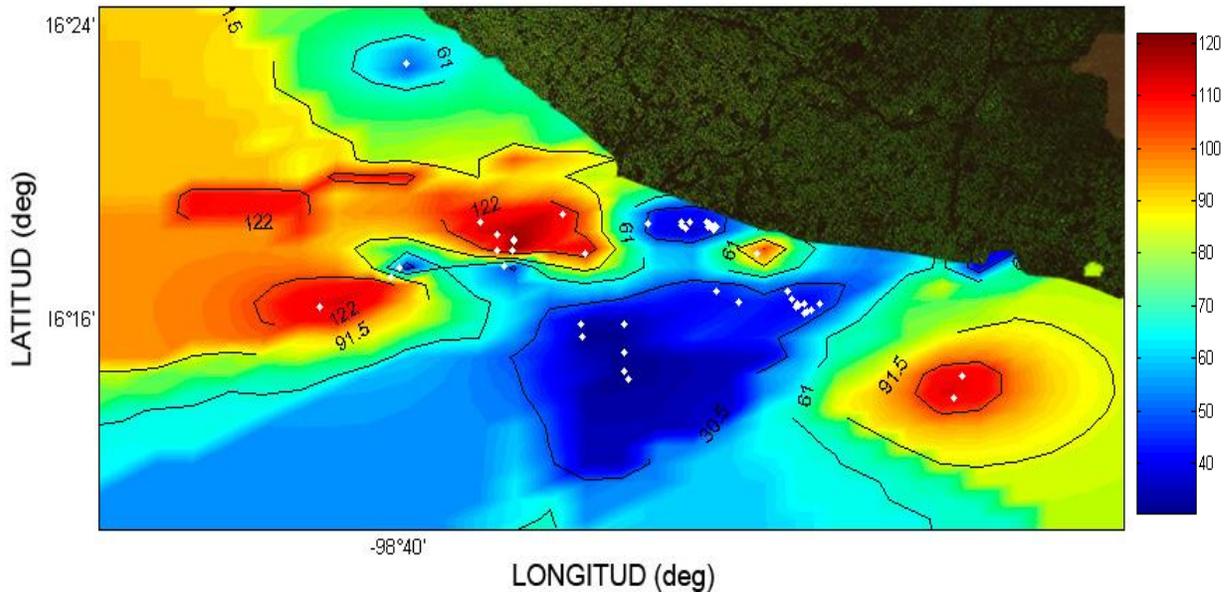


Figura 32: Kriging realizado para región AV3 con base en la asociación de Laúd-Huachinango, los puntos en blanco representan la ubicación de los puntos georreferenciados y la escala a los valores predichos por el kriging.

Tabla 16: Resumen de las características usadas en el análisis kriging de la región AV3 con base en la asociación de Laúd-Huachinango.

Características del variograma	
Preparación de datos	71 puntos georreferenciados, ordenados de manera longitudinal de menor a mayor
Tipo de modelo de ajuste para el variograma	Modelo exponencial
Tipo de kriging	Ordinario, punto por punto. Media de los residuales = -0.013 Varianza de los residuales = 0.61
Validación	Error de la estimación (σ/\sqrt{n}) = ± 10.32 Estimación de los puntos observados vs. Puntos predichos (Figura 32)

Nota: Validación a un intervalo de confianza al 95%.

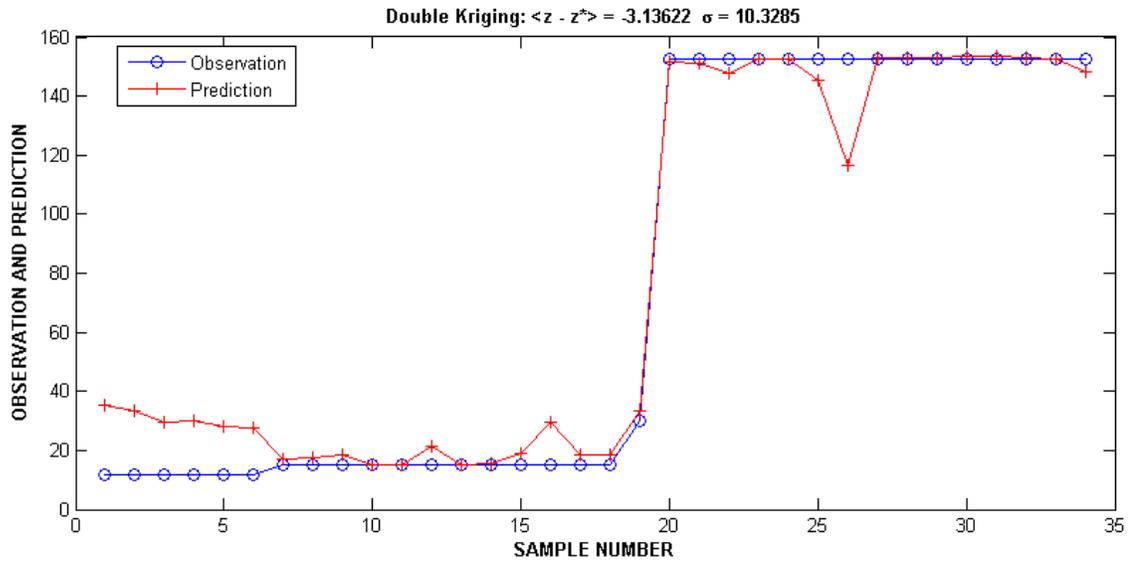


Figura 33: Grafica de valores observados vs. valores predichos por el kriging de la región AV3 con base en la asociación de Laúd-Huachinango.

En el kriging correspondiente a la asociación Golfina-Blanco, se puede observar que existe una mayor probabilidad de que esta ocurra en la parte sureña donde se ubican las zonas de CORR.

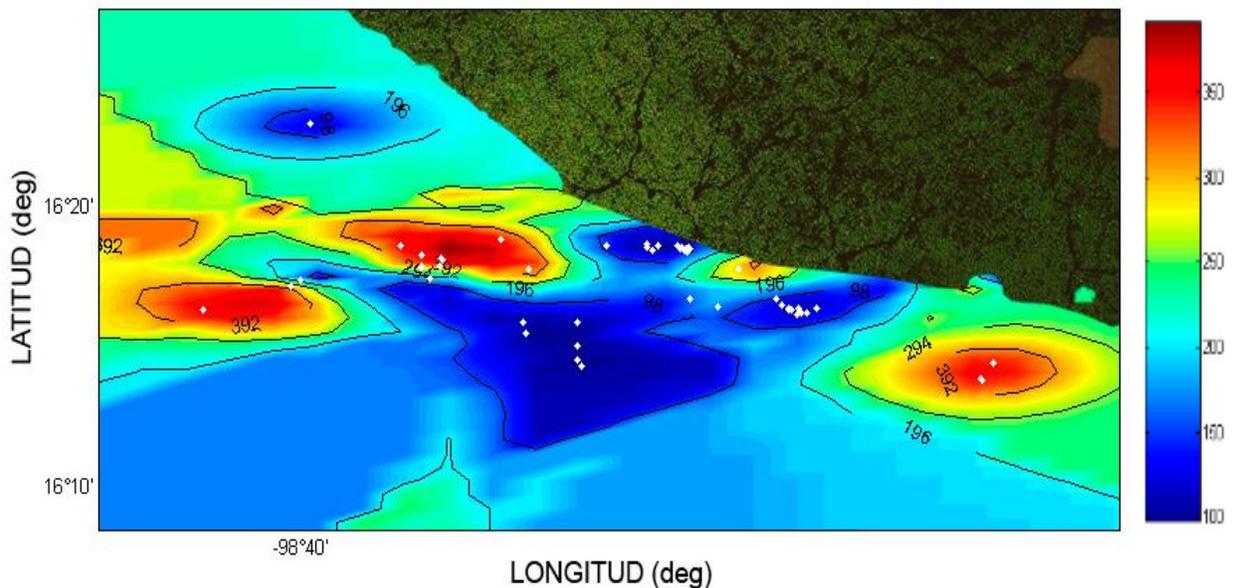


Figura 34: Kriging realizado para región AV3 con base en la asociación de Golfina-Blanco, los puntos en blanco representan la ubicación de los puntos georreferenciados y la escala a los valores predichos por el kriging.

Tabla 17: Resumen de las características usadas en el análisis kriging de la región AV3 con base en la asociación de Golfina-Blanco.

Características del variograma	
Preparación de datos	71 puntos georreferenciados ordenados de manera longitudinal de menor a mayor
Tipo de modelo de ajuste para el variograma	Modelo esférico
Tipo de kriging	Ordinario, punto por punto. Media de los residuales = -0.022 Varianza de los residuales = 0.072
Validación	Error de la estimación (σ/\sqrt{n}) = ± 52.27 Estimación de los puntos observados vs. Puntos predichos (Figura 34)

Nota: Validación a un intervalo de confianza al 95%.

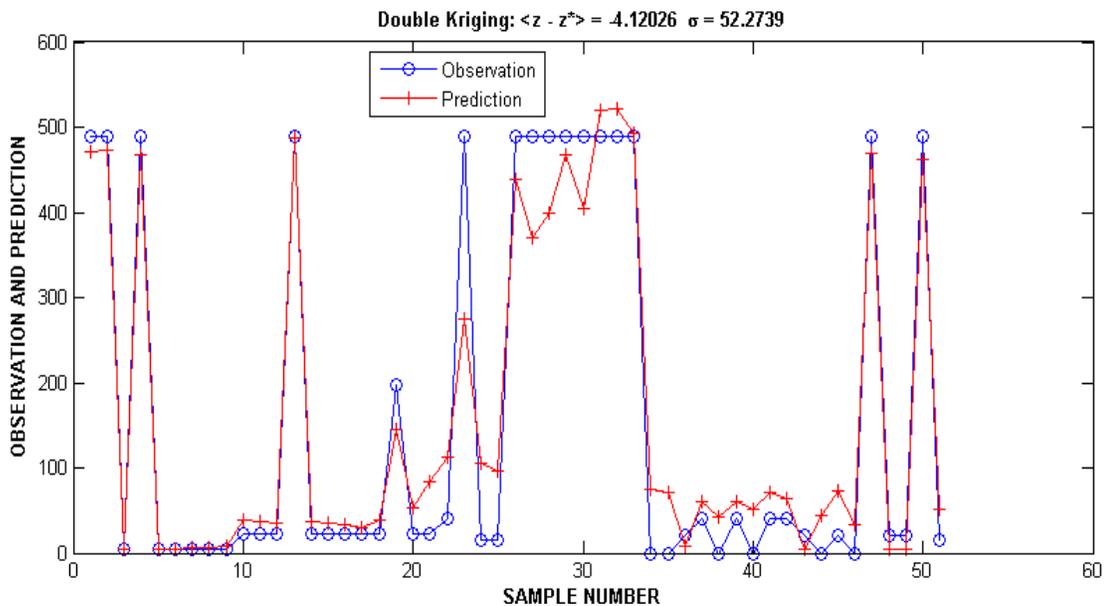


Figura 359: Grafica de valores observados vs. valores predichos por el kriging de la región AV3 con base en la asociación de Golfina-Blanco.

En el kriging correspondiente a la asociación Prieta-Blanco, se puede observar que existe una mayor probabilidad de que esta ocurra en la parte sureña donde se ubican las zonas de CORR.

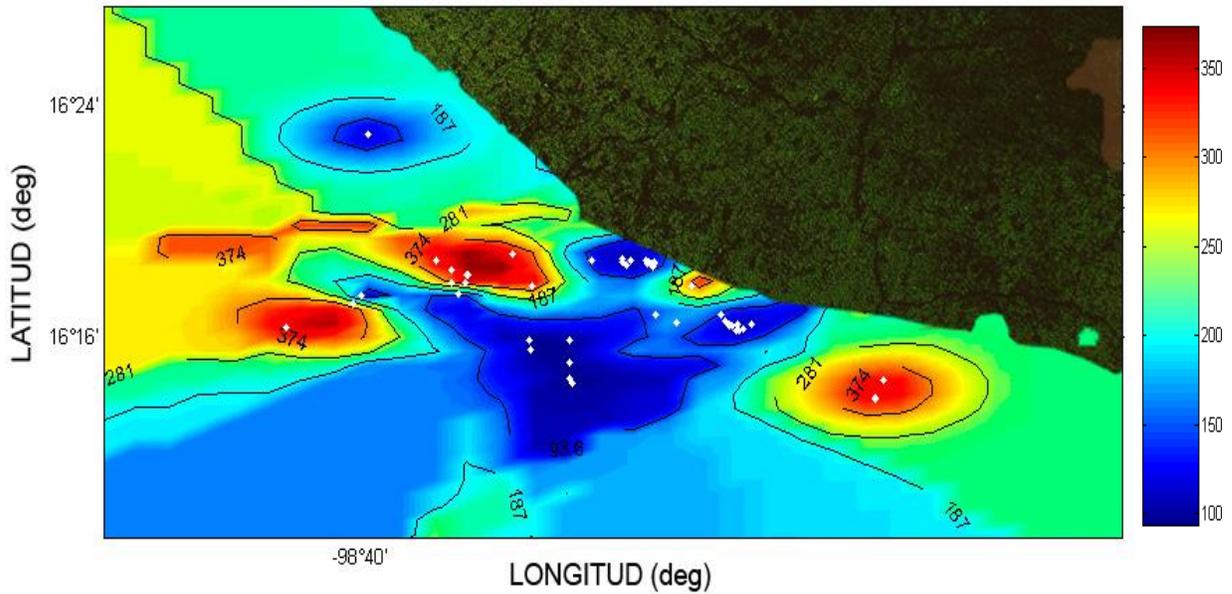


Figura 36: Kriging realizado para región AV3 con base en la asociación de Prieta-Blanco, los puntos en blanco representan la ubicación de los puntos georreferenciados y la escala a los valores predichos.

Tabla 18: Resumen de las características usadas en el análisis kriging de la región AV3 con base en la asociación de Prieta-Blanco.

Características del variograma	
Preparación de datos	71 puntos georreferenciados, ordenados de manera longitudinal de menor a mayor
Tipo de modelo de ajuste para el variograma	Modelo esférico
Tipo de kriging	Ordinario, punto por punto. Media de los residuales = -0.024 Varianza de los residuales = 0.72
Validación	Error de la estimación (σ/\sqrt{n}) = ± 50.78 Estimación de los puntos observados vs. Puntos predichos (Figura 36)

Nota: Validación a un intervalo de confianza al 95%.

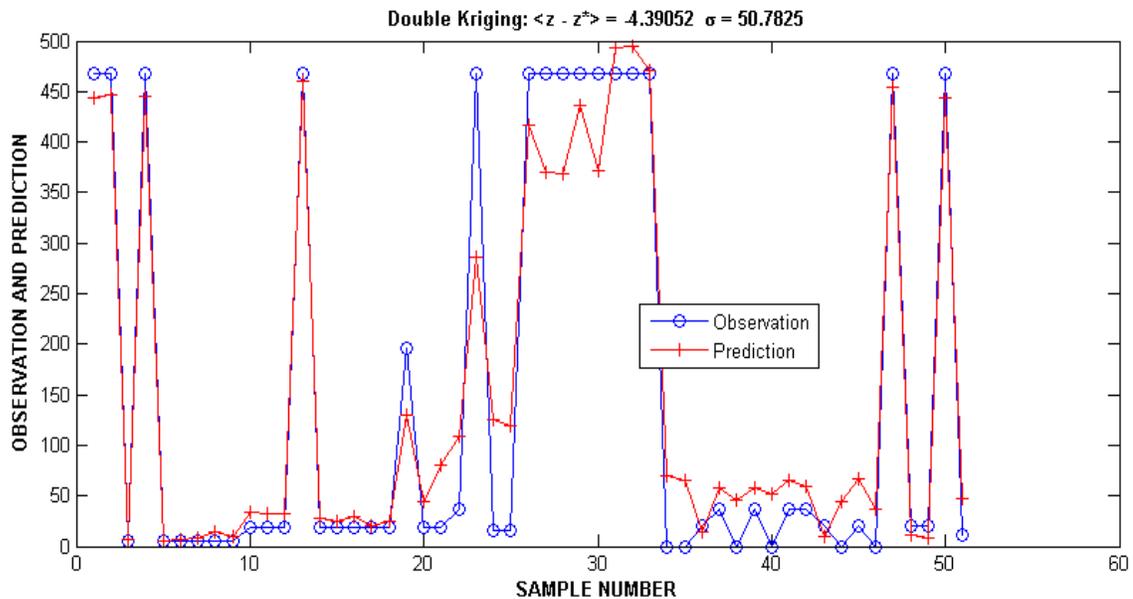


Figura 3710: Grafica de valores observados vs. valores predichos por el kriging de la región AV3 con base en la asociación de Prieta-Blanco.

6.3 Regiones por tipo de interacción

Se buscó similitud en 20 zonas de pesca distintas, en términos de la variable “tipo de interacciones” poder determinar regiones mediante un análisis de conglomerados, y al mismo tiempo se realizó un análisis MDS para los mismos propósitos y de manera comparativa. Entendiéndose como interacción al hecho de que las especies de tortuga marina presentes en el área de estudio compartan las mismas zonas geográficas con las pesquerías artesanales al momento de que éstas realicen sus jornadas de pesca, dichas interacciones se dividieron en cuatro tipos; 1) nadando, 2) alimentándose, 3) copulando y 4) con artes de pesca.

El análisis de conglomerados en términos del tipo de interacción entre las pesquerías y las tortugas marinas sugiere el establecimiento de 3 regiones (Figura 38). De igual manera se realizó un análisis MDS para tratar de confirmar los grupos sugeridos (Figura 39). En este se pueden corroborar sin mayor problema las 3 regiones sugeridas.

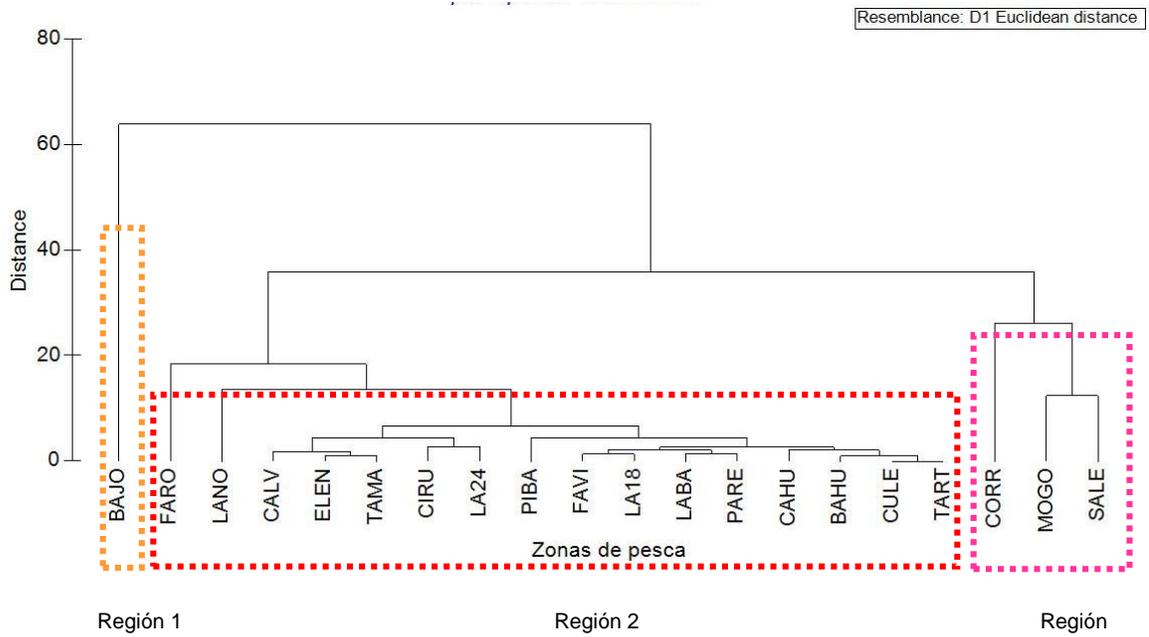


Figura 38: Regiones sugeridas por el análisis de conglomerados en términos del tipo de interacción entre pesquerías y tortuga marina.

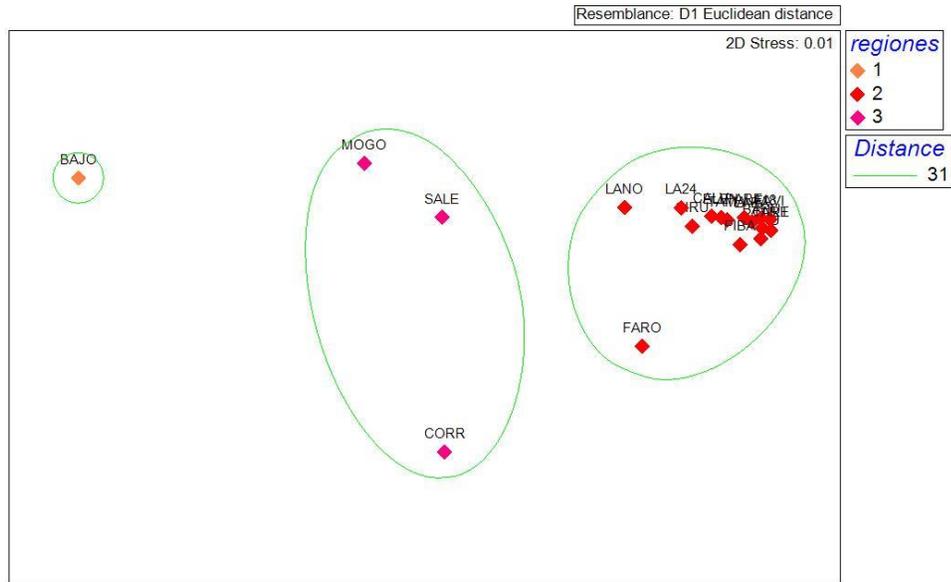
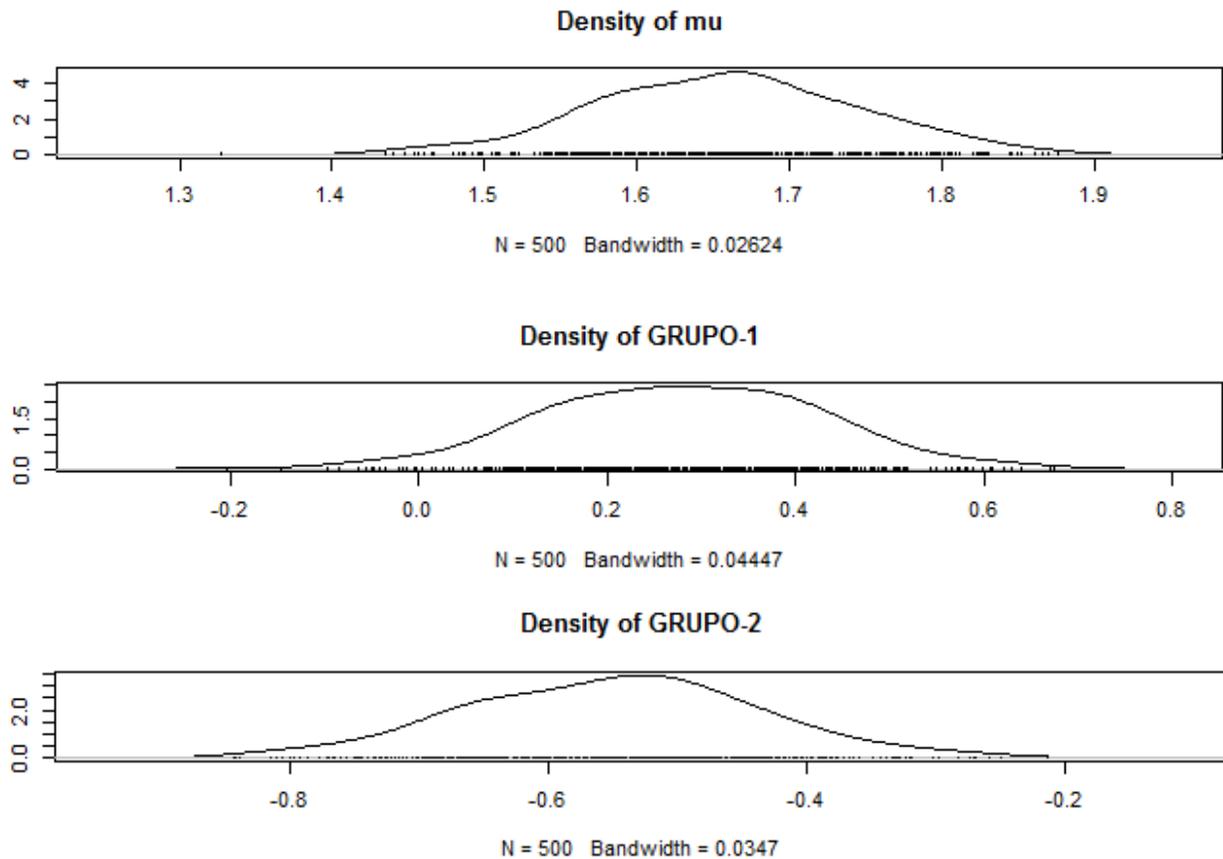


Figura 39: Regiones sugeridas por el análisis MDS en términos del tipo de interacción entre pesquerías y tortuga marina.

Con el propósito de verificar si las regiones son diferentes entre sí, se tomaron dos aproximaciones:

Primero, se utilizó la aproximación de la estadística frecuentista, mediante la prueba no paramétrica (Kruskal-Wallis) debido a que los datos no cumplieron con los supuestos de normalidad ni homogeneidad de varianzas. El análisis indico que existen diferencias significativas entre los grupos con un valor $p=1.83e-06$.

Como segundo término se utilizó la aproximación de la estadística bayesiana con un análisis de varianza (ANOVA), con un factor de Bayes = 148.79, con el cual se puede determinar que existen una contundente probabilidad de que sean diferentes. En la figura 40 se representa la distribución posterior del o de los parámetros del modelo específicos. En el entendido de que la primera grafica representa la densidad de MU para todos los datos, y entre más variación tenga ésta con las densidades por cada una de las regiones, más será la diferencia entre éstas.



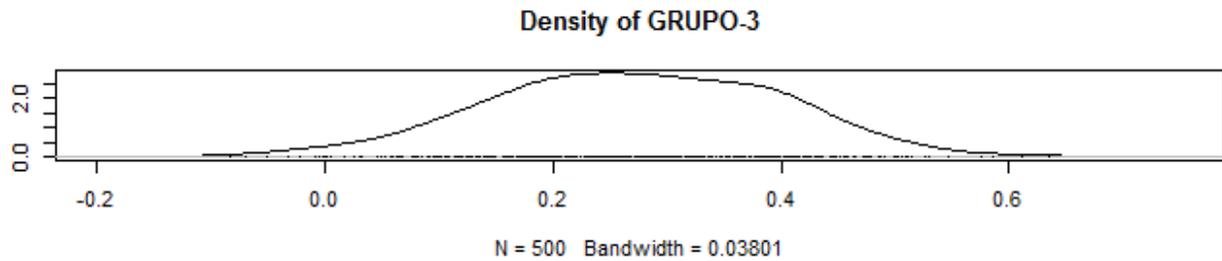


Figura 40: Distribución posterior de las densidades por grupo y en promedio general.

Para poder determinar entre que grupos existen diferencias estadísticas, se realizaron pruebas a posteriori para la aproximación frecuencista, las cuales indican que el grupo 1 presenta diferencias estadísticamente significativas con respecto al grupo 2 ($p < 0.05$) mientras que el grupo 2 presenta diferencias estadísticamente significativa con el grupo 3 ($p < 0.05$) (Ver tabla 19). En resumen la estadística frecuencista solo permite determinar dos regiones estadísticamente diferentes, una compuesta por los grupos 1 y 3, y otra compuesta por el grupo 2.

De igual manera para el caso de la aproximación bayesiana se realizaron pruebas t bayesianas para determinar que regiones presentan diferencias estadísticas (ver tabla 19). Para este análisis se tiene el siguiente resultado:

El grupo 1 presenta una contundente evidencia de ser diferente del grupo 2 y una sustancial evidencia de ser diferente del grupo 3.

El grupo 2 presenta una contundente evidencia de ser diferente del grupo 3.

En resumen, la aproximación bayesiana permite distinguir 3 regiones, la primera compuesta por el grupo 1, la segunda por el grupo 2 y 3 y la tercera por el grupo 4.

Tabla 19: Resumen comparativo de la prueba posterior frecuencista (valor P) y de los valores de las pruebas t bayesianas (valor del factor de bayes), para determinar diferencias entre grupos. Los valores marcados en rojo representan diferencias estadísticas.

Frecuencista	Grupo 1	Grupo 2	Bayesiana	Grupo 1	Grupo 2
Grupo 2	0.0001		Grupo 2	567.682	
Grupo 3	1	4.9e-05	Grupo 3	0.201	2868.107

En resumen, dado que una de las finalidades de ese trabajo es poder caracterizar y explicar las variaciones geográficas dentro de la zona de estudio, la aproximación bayesiana ofrece una mejor alternativa que su contraparte frecuentista, por lo cual con base en los resultados de la pruebas bayesiana se determinan tres regiones geográficas en términos del tipo de interacciones que se dan entre las pesquerías artesanales y las tres especies de tortuga marina, a las cuales se les referirá como IN1, IN2, y IN3 de aquí en adelante.

Para poder dilucidar la distribución espacial de las regiones se muestra en la figura 41 la geolocalización de dichas regiones dentro del área de estudio. Además se muestran por separado el mapa de cada una de las regiones y las gráficas correspondiente a los porcentajes del tipo de interacciones entre las pesquerías artesanales y las tres especies de tortuga marina.

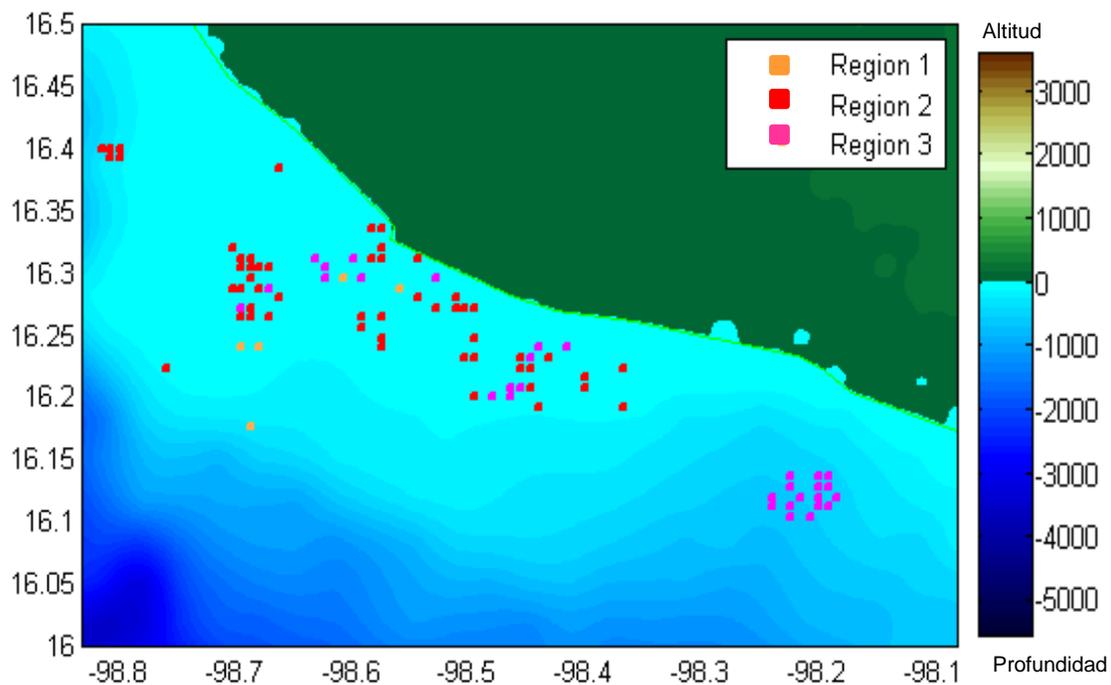


Figura 41: Regiones determinadas en términos del tipo de interacciones entre las pesquerías artesanales y las tres especies de tortuga marina.

La región 1 también denominada IN1 para el resto del estudio, está compuesta por una única zona, el BAJO. Se caracteriza por ser una zona donde la principal interacción por parte de las tres especies de tortuga marina es nadar y por tener el mayor porcentaje de interacción con artes de pesca (figura 42).

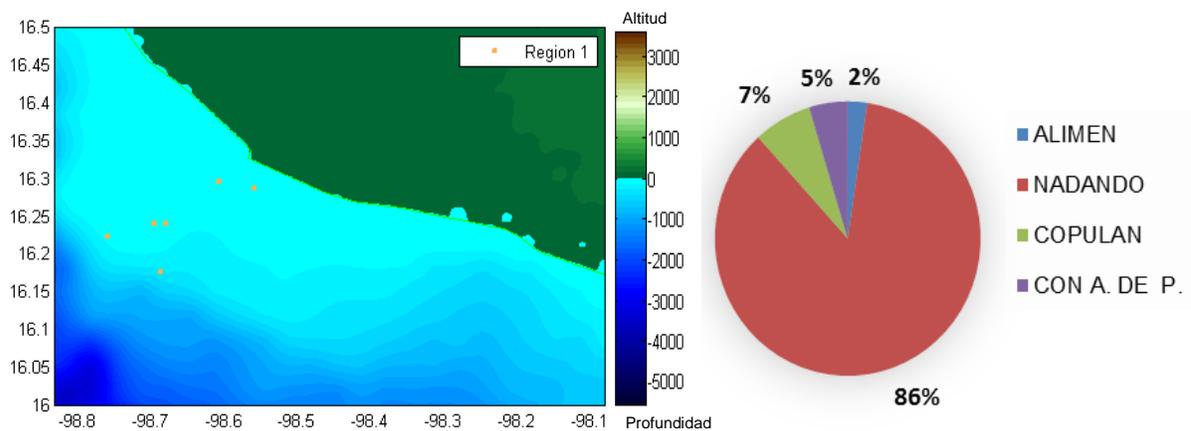


Figura 42: Mapa y grafica de la región IN1 en términos del tipo de interacción entre las pesquerías artesanales y las tres especies de tortuga marina.

Una vez obtenida la región geográfica IN1 se realizó un kriging para poder obtener una estimación de la probabilidad de interacción para cada una de los cuatro tipos a lo largo de toda la región (Figura 43, 45, 47 y 49), cada una de ellas con un resumen de sus características (Tablas 20, 21, 22 y 23).

En el kriging correspondiente al tipo de interacción “alimentándose”, está compuesta por una única zona de pesca (BAJO), se puede observar que existe mayor probabilidad en puntos específicos.

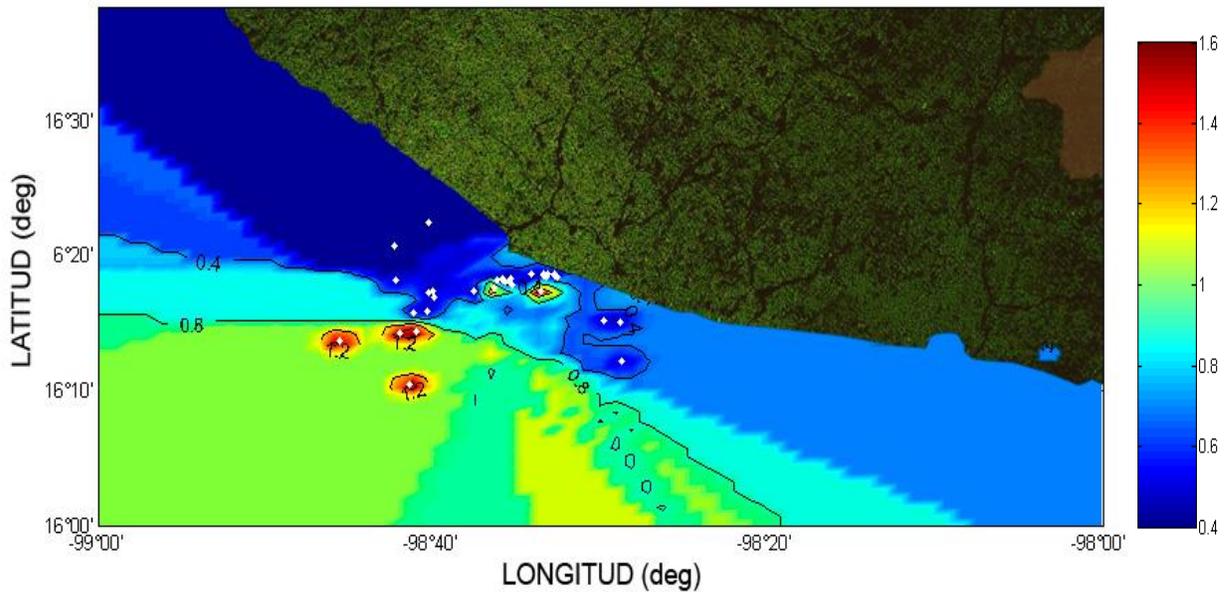


Figura 4311: Kriging realizado para región IN1 con base en el tipo de interacción alimentándose, los puntos en blanco representan la ubicación de los puntos georreferenciados y la escala a los valores predichos.

Tabla 20: Resumen de las características usadas en el análisis kriging de la región IN1 con base en el tipo de interacción alimentándose.

Características del variograma	
Preparación de datos	66 puntos georreferenciados, ordenados de manera longitudinal de menor a mayor, se incluyeron zonas cercanas con valor de 0 para cubrir los requerimientos de número de puntos.
Tipo de modelo de ajuste para el variograma	Modelo esférico
Tipo de kriging	Ordinario, punto por punto. Media de los residuales = -0.230 Varianza de los residuales = 0.681
Validación	Error de la estimación $(\sigma/\sqrt{n}) = \pm 0.22$ Estimación de los puntos observados vs. Puntos predichos (Figura 43)

Nota: Validación a un intervalo de confianza al 95%.

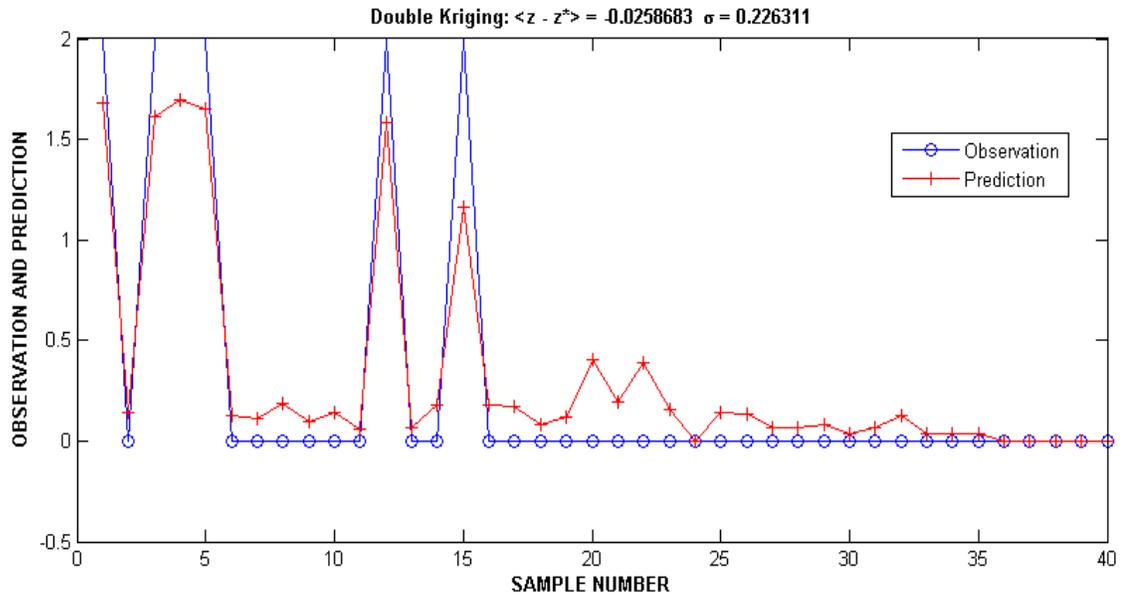


Figura 44: Grafica de valores observados vs. valores predichos por el kriging de la región IN1 con base en el tipo de interacción alimentándose.

En el kriging correspondiente al tipo de interacción “nadando”, a pesar de que está compuesta por una única zona de pesca (BAJO), se puede observar que existe una mayor área conforme se aleja de la costa.

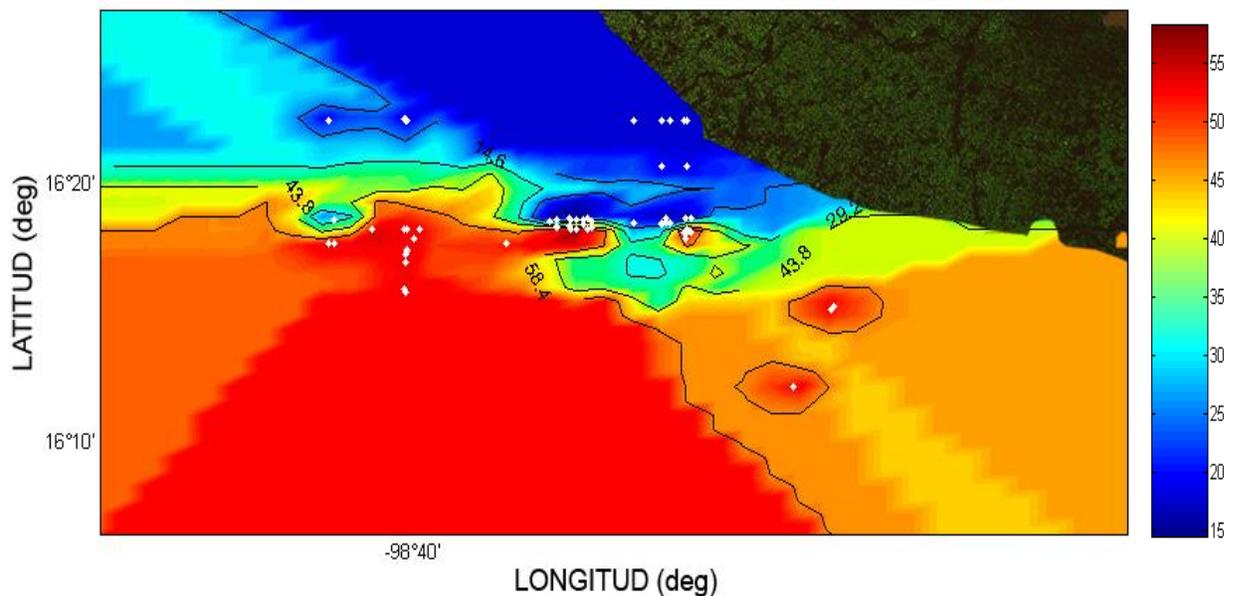


Figura 45: Kriging realizado para región IN1 con base en el tipo de interacción nadando, los puntos en blanco representan la ubicación de los puntos georreferenciados y la escala a los valores predichos.

Tabla 21: Resumen de las características usadas en el análisis kriging de la región IN1 con base en el tipo de interacción nadando.

Características del variograma	
Preparación de datos	66 puntos georreferenciados ordenados de manera longitudinal de menor a mayor
Tipo de modelo de ajuste para el variograma	Modelo esférico
Tipo de kriging	Ordinario, punto por punto. Media de los residuales = -0.290 Varianza de los residuales = 0.541
Validación	Error de la estimación (σ/\sqrt{n}) = ± 10.76 Estimación de los puntos observados vs. Puntos predichos (Figura 45)

Nota: Validación a un intervalo de confianza al 95%.

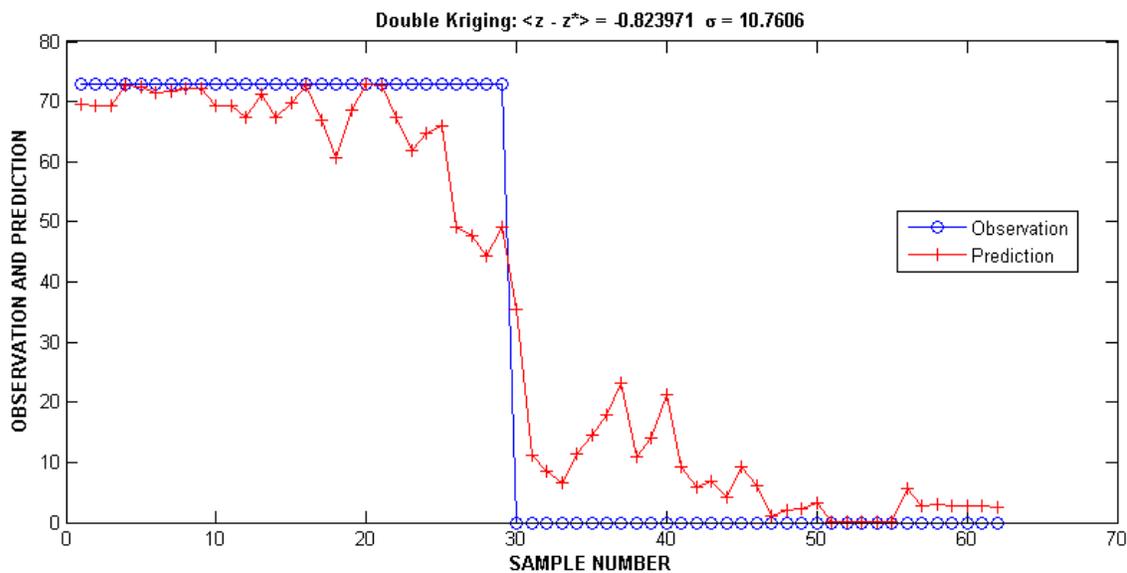


Figura 46: Grafica de valores observados vs. valores predichos por el kriging de la región IN1 con base en el tipo de interacción nadando.

En el kriging correspondiente al tipo de interacción “copulando”, a pesar de que está compuesta por una única zona de pesca (BAJO), se puede observar que existe mayor probabilidad en puntos específicos.

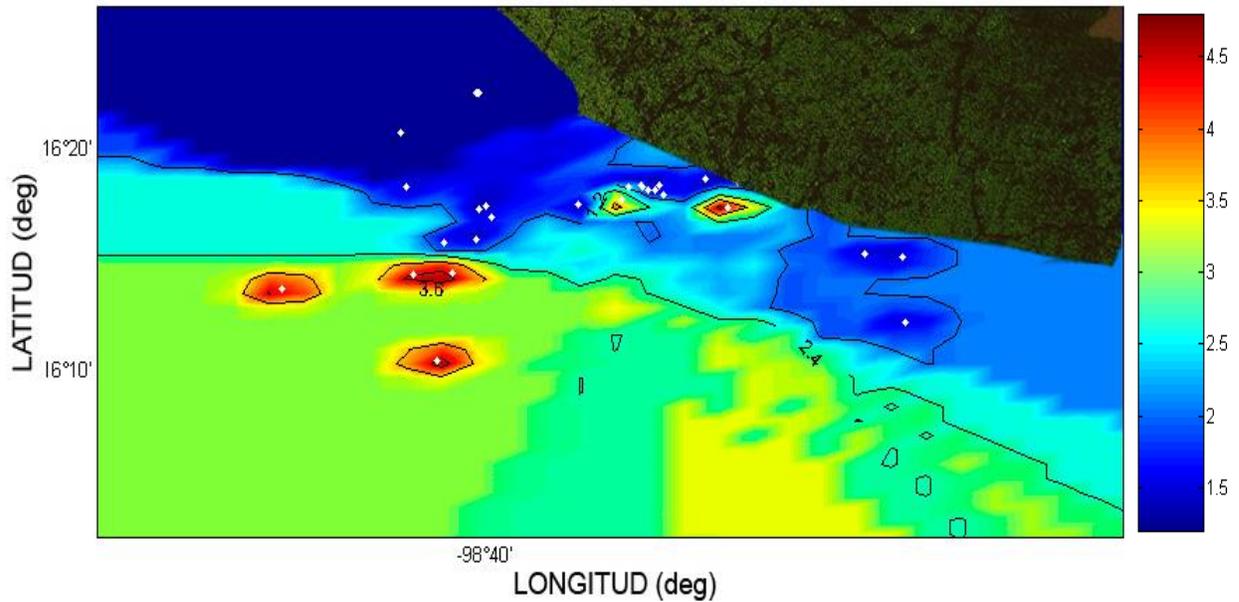


Figura 47: Kriging realizado para región IN1 con base en el tipo de interacción copulando, los puntos en blanco representan la ubicación de los puntos georreferenciados y la escala a los valores predichos.

Tabla 22: Resumen de las características usadas en el análisis kriging de la región IN1 con base en el tipo de interacción copulando.

Características del variograma	
Preparación de datos	66 puntos georreferenciados ordenados de manera longitudinal de menor a mayor
Tipo de modelo de ajuste para el variograma	Modelo esférico
Tipo de kriging	Ordinario, punto por punto.
Validación	Media de los residuales = -0.206 Varianza de los residuales = 0.935 Error de la estimación (σ/\sqrt{n}) = ± 0.71 Estimación de los puntos observados vs. Puntos predichos (Figura 47)

Nota: Validación a un intervalo de confianza al 95%.

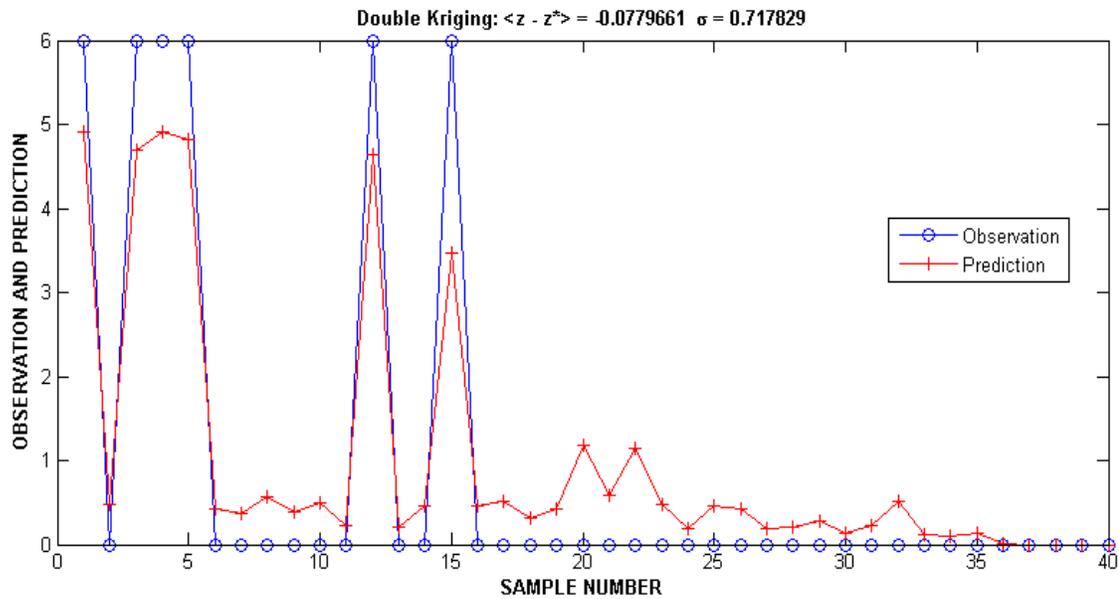


Figura 48: Grafica de valores observados vs. valores predichos por el kriging de la región IN1 con base en el tipo de interacción copulando.

En el kriging correspondiente al tipo de interacción “con arte de pesca”, a pesar de que está compuesta por una única zona de pesca (BAJO), se puede observar que existe una mayor área conforme se aleja de la costa.

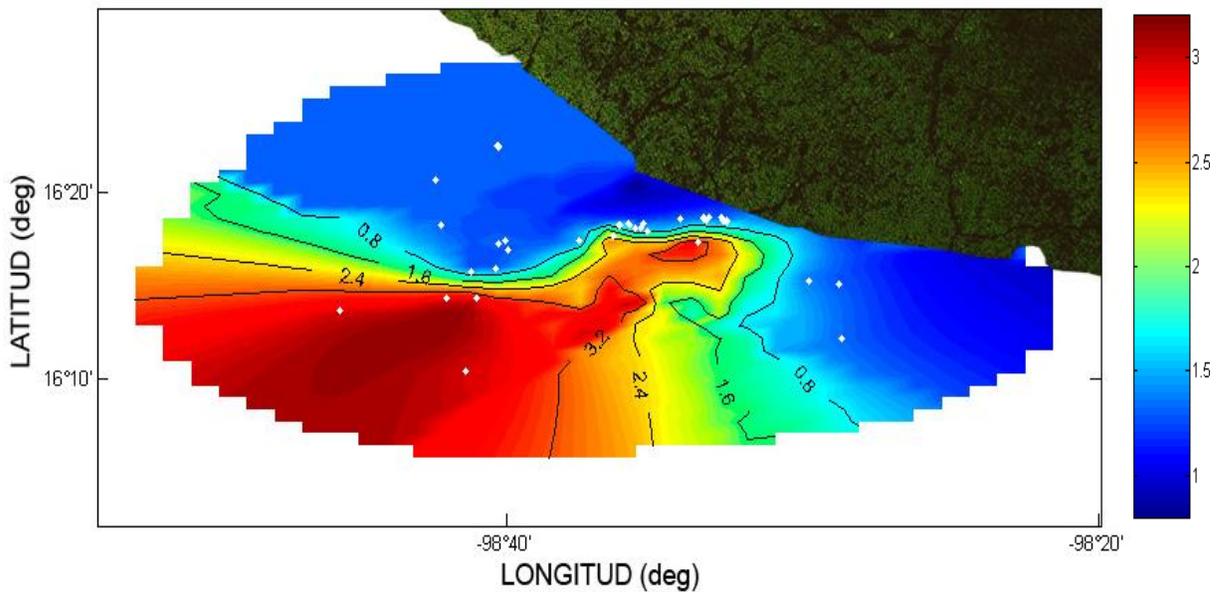


Figura 49: Kriging realizado para región IN1 con base en el tipo de interacción con arte de pesca, los puntos en blanco representan la ubicación de los puntos georreferenciados y la escala a los valores predichos.

Tabla 23: Resumen de las características usadas en el análisis kriging de la región IN1 con base en el tipo de interacción con arte de pesca.

Características del variograma	
Preparación de datos	66 puntos georreferenciados ordenados de manera longitudinal de menor a mayor
Tipo de modelo de ajuste para el variograma	Modelo esférico
Tipo de kriging	Ordinario, punto por punto. Media de los residuales = -0.194 Varianza de los residuales = 1.92
Validación	Error de la estimación (σ/\sqrt{n}) = ± 0.17 Estimación de los puntos observados vs. Puntos predichos (Figura 49)

Nota: Validación a un intervalo de confianza al 95%.

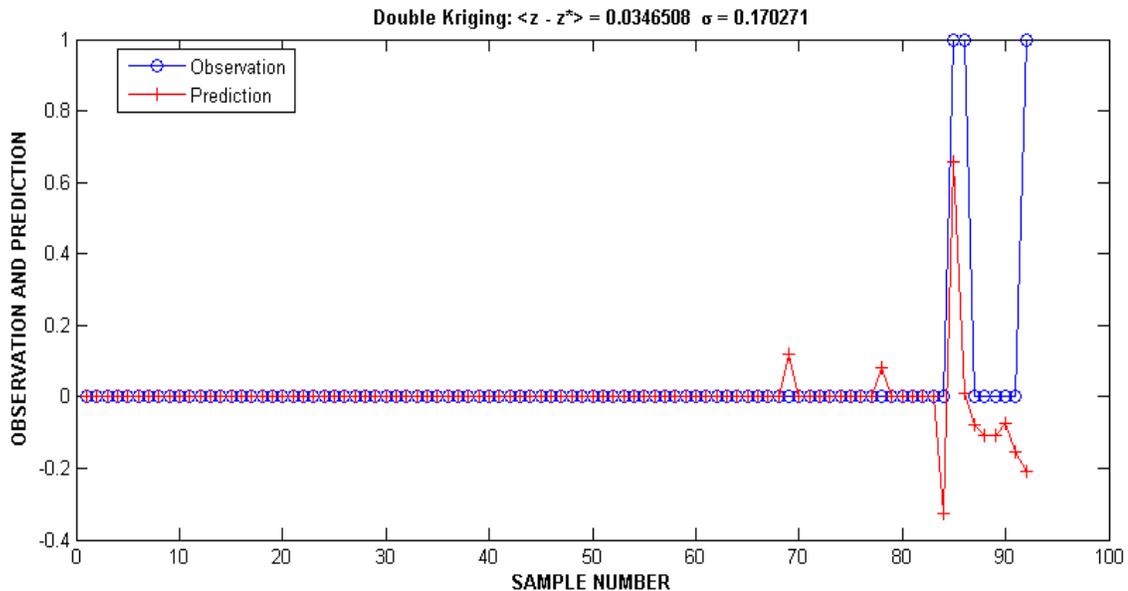


Figura 50: Grafica de valores observados vs. valores predichos por el kriging de la región IN1 con base en el tipo de interacción con arte de pesca.

La región 2, también denominada IN2 para el resto del estudio, está formada por las zona de pesca FAVI, BAHU, CULE, PIBA, TART, CALV, CIRU, ELEN, LABA, LA18, LA24, LANO, PARE, TAMA, CAHU y FARO. Se caracteriza al igual que la anterior por que la principal interacción por parte de las tres especies de tortuga marina es nadar, en segundo lugar el alimentarse y tiene el mayor porcentaje de copula de todas las regiones (figura 51).

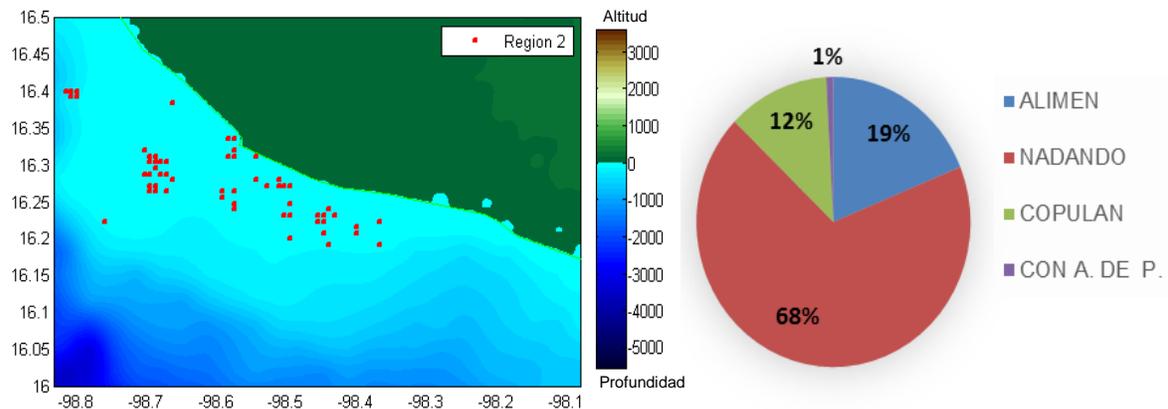


Figura 5112: Mapa y grafica de la región IN2 en términos del tipo de interacción entre las pesquerías artesanales y las tres especies de tortuga marina.

Una vez obtenida la región geográfica IN2 se realizó un kriging para poder obtener una estimación de la probabilidad de interacción para cada una de los cuatro tipos a lo largo de toda la región (Figura 52, 54, 56 y 58), cada una de ellas con un resumen de sus características (Tablas 24, 25, 26 y 27).

En el kriging correspondiente al tipo de interacción “alimentándose”, y se puede observar que existe mayor probabilidad concentrada en la zona de pesca FARO.

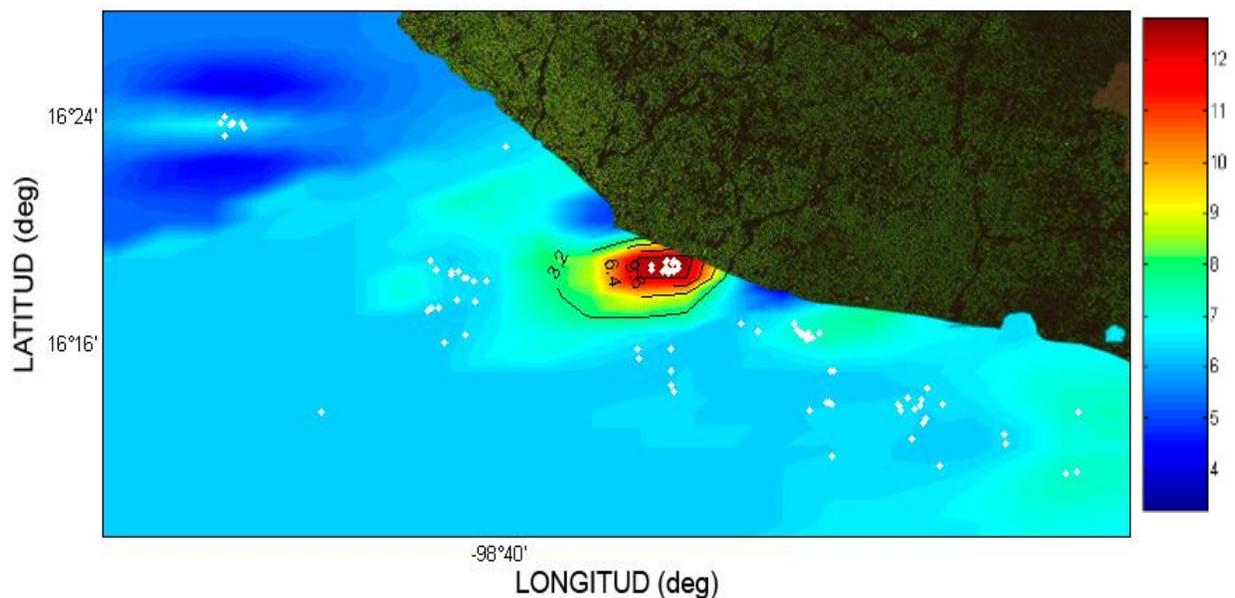


Figura 52: Kriging realizado para región IN2 con base en el tipo de interacción alimentándose, los puntos en blanco representan la ubicación de los puntos georreferenciados y la escala a los valores predichos.

Tabla 24: Resumen de las características usadas en el análisis kriging de la región IN2 con base en el tipo de interacción alimentándose.

Características del variograma	
Preparación de datos	182 puntos georreferenciados ordenados de manera longitudinal de menor a mayor
Tipo de modelo de ajuste para el variograma	Modelo esférico
Tipo de kriging	Ordinario, punto por punto.
Validación	Media de los residuales = -0.050 Varianza de los residuales = 1.60 Error de la estimación (σ/\sqrt{n}) = ± 0.22 Estimación de los puntos observados vs. Puntos predichos (Figura 52)

Nota: Validación a un intervalo de confianza al 95%.

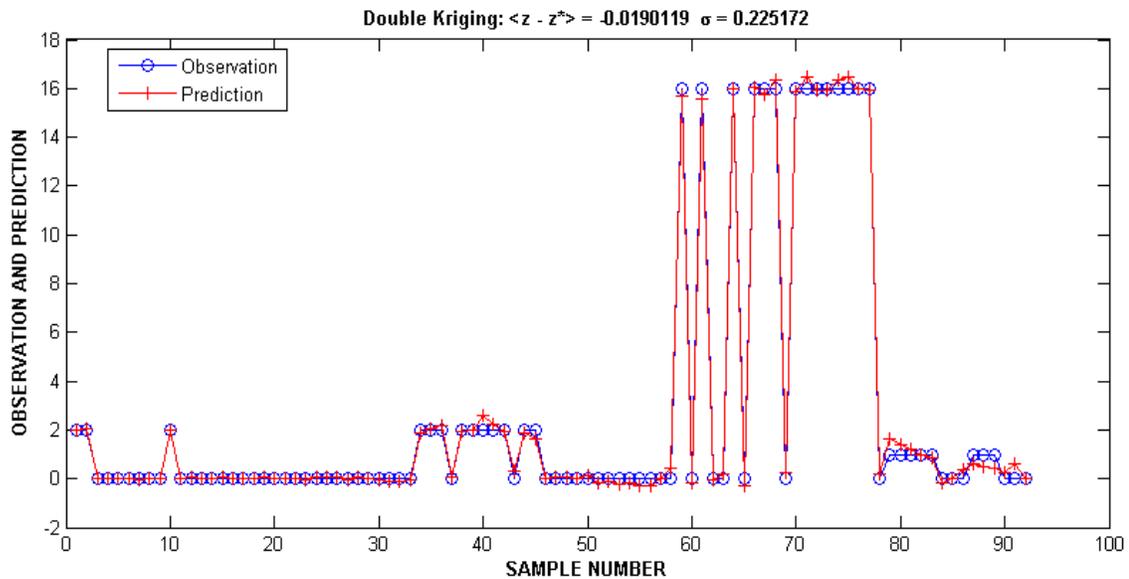


Figura 53: Grafica de valores observados vs. valores predichos por el kriging de la región IN2 con base en el tipo de interacción alimentándose.

En el kriging correspondiente al tipo de interacción “nadando”, se observa que existe una mayor probabilidad dentro de la zona LANO, a pesar de tener pequeñas concentraciones en la parte centro.

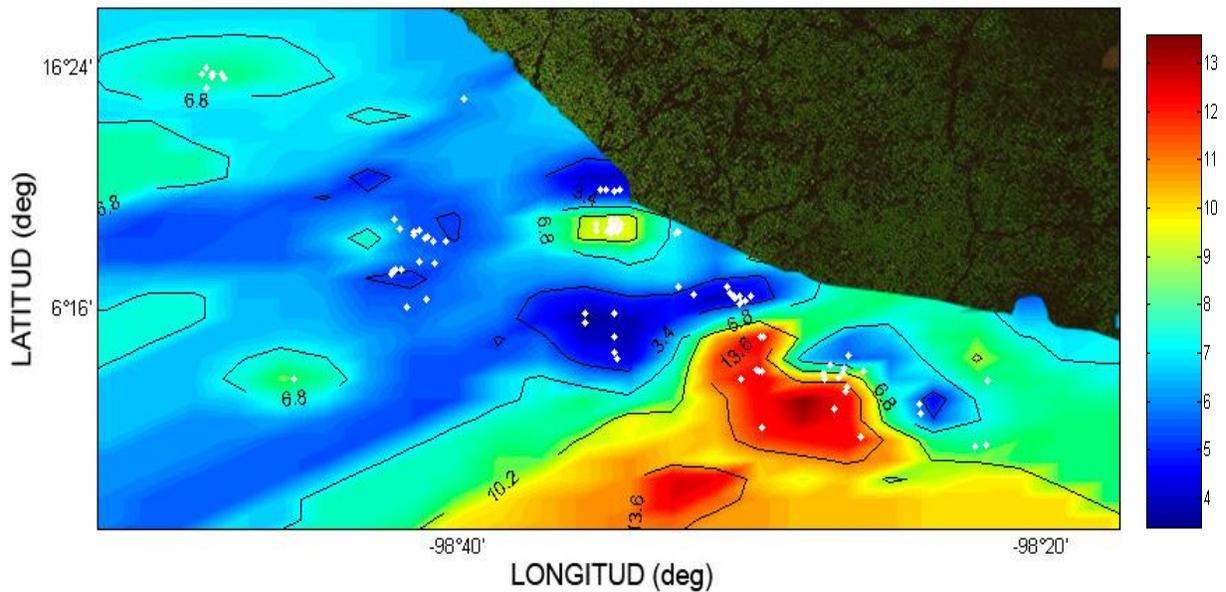


Figura 5413: Kriging realizado para región IN2 con base en el tipo de interacción nadando, los puntos en blanco representan la ubicación de los puntos georreferenciados y la escala a los valores predichos.

Tabla 25: Resumen de las características usadas en el análisis kriging de la región IN2 con base en el tipo de interacción nadando.

Características del variograma	
Preparación de datos	182 puntos georreferenciados ordenados de manera longitudinal de menor a mayor
Tipo de modelo de ajuste para el variograma	Modelo exponencial
Tipo de kriging	Ordinario, punto por punto.
Validación	Media de los residuales = -0.05 Varianza de los residuales = 1.60 Error de la estimación (σ/\sqrt{n}) = ± 2.89 Estimación de los puntos observados vs. Puntos predichos (Figura 54)

Nota: Validación a un intervalo de confianza al 95%.

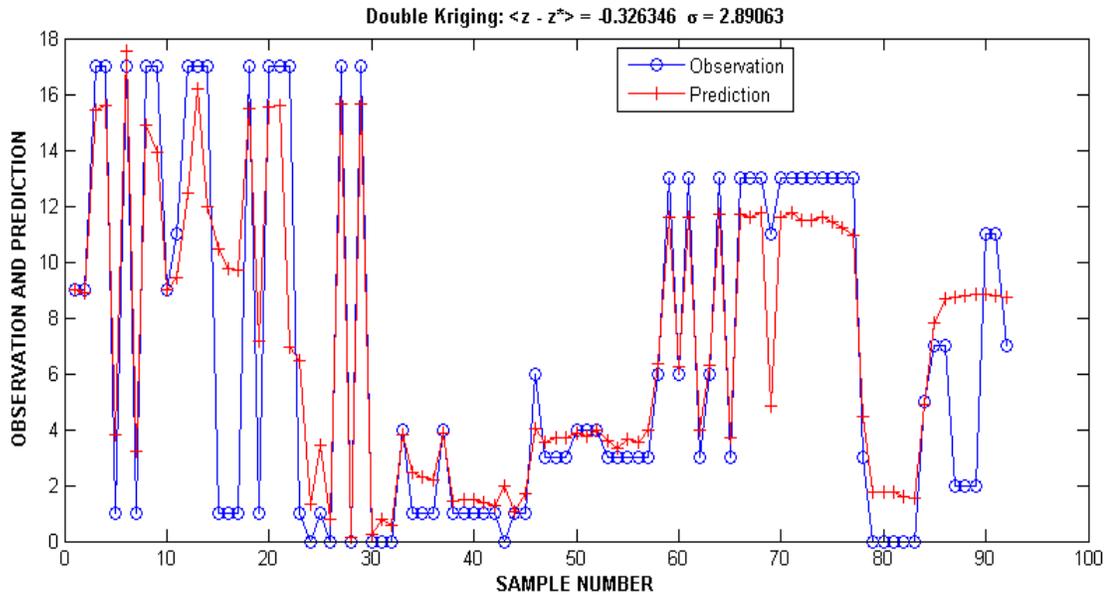


Figura 55: Grafica de valores observados vs. valores predichos por el kriging de la región IN2 con base en el tipo de interacción nadando.

En el kriging correspondiente al tipo de interacción “copulando”, se observar que existe una mayor probabilidad en el sitio PIBA.

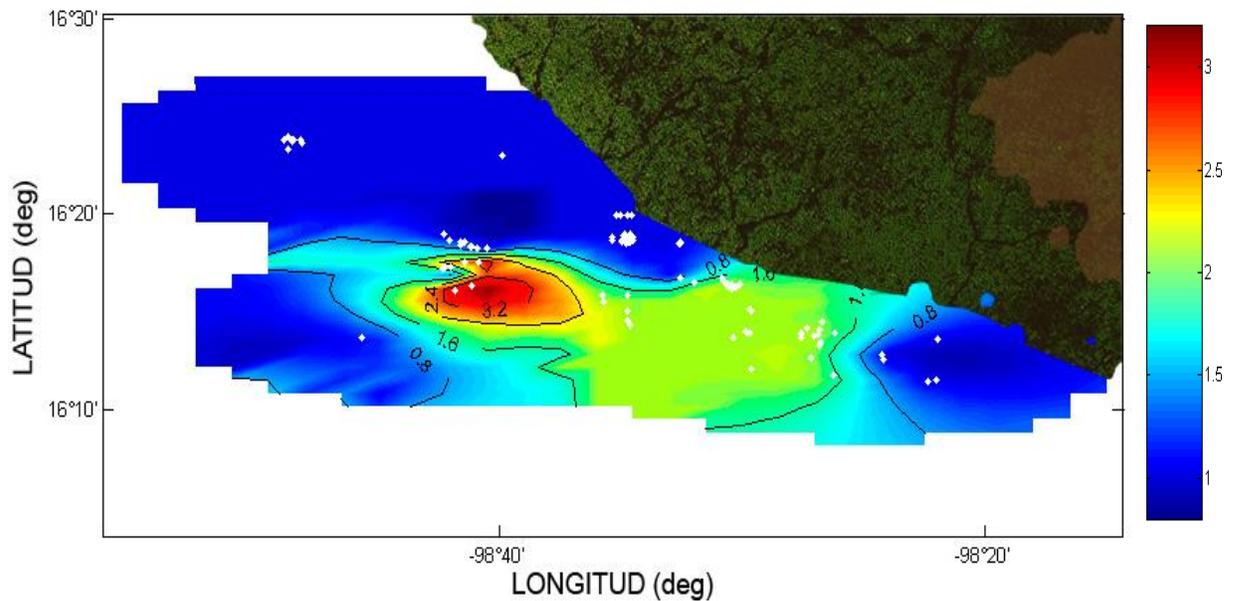


Figura 5614: Kriging realizado para región IN2 con base en el tipo de interacción copulando, los puntos en blanco representan la ubicación de los puntos georreferenciados y la escala a los valores predichos.

Tabla 26: Resumen de las características usadas en el análisis kriging de la región IN2 con base en el tipo de interacción copulando.

Características del variograma	
Preparación de datos	182 puntos georreferenciados ordenados de manera longitudinal de menor a mayor
Tipo de modelo de ajuste para el variograma	Modelo esférico
Tipo de kriging	Ordinario, punto por punto. Media de los residuales = -0.166 Varianza de los residuales = 3.77
Validación	Estimación del error (σ/\sqrt{n}) = ± 0.45 Estimación de los puntos observados vs. Puntos predichos (Figura 56)

Nota: Validación a un intervalo de confianza al 95%.

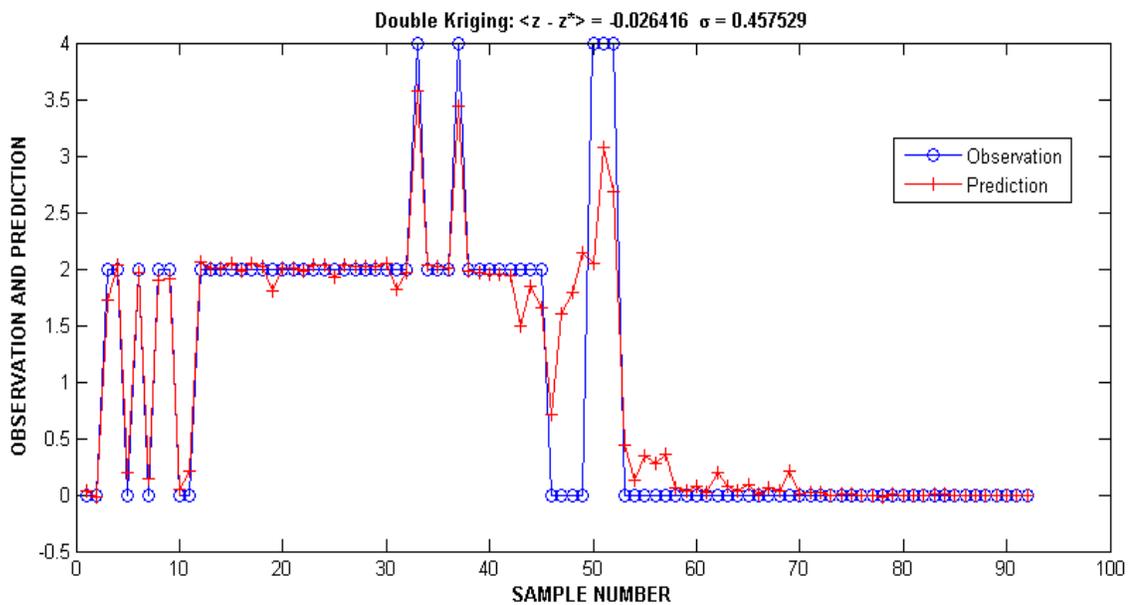


Figura 57: Grafica de valores observados vs. valores predichos por el kriging de la región IN2 con base en el tipo de interacción copulando.

En el kriging correspondiente al tipo de interacción “con arte de pesca”, se observó que existe una mayor probabilidad muy localizada en la zona CALV, mientras que el resto del área de estudio muestra escasa probabilidad.

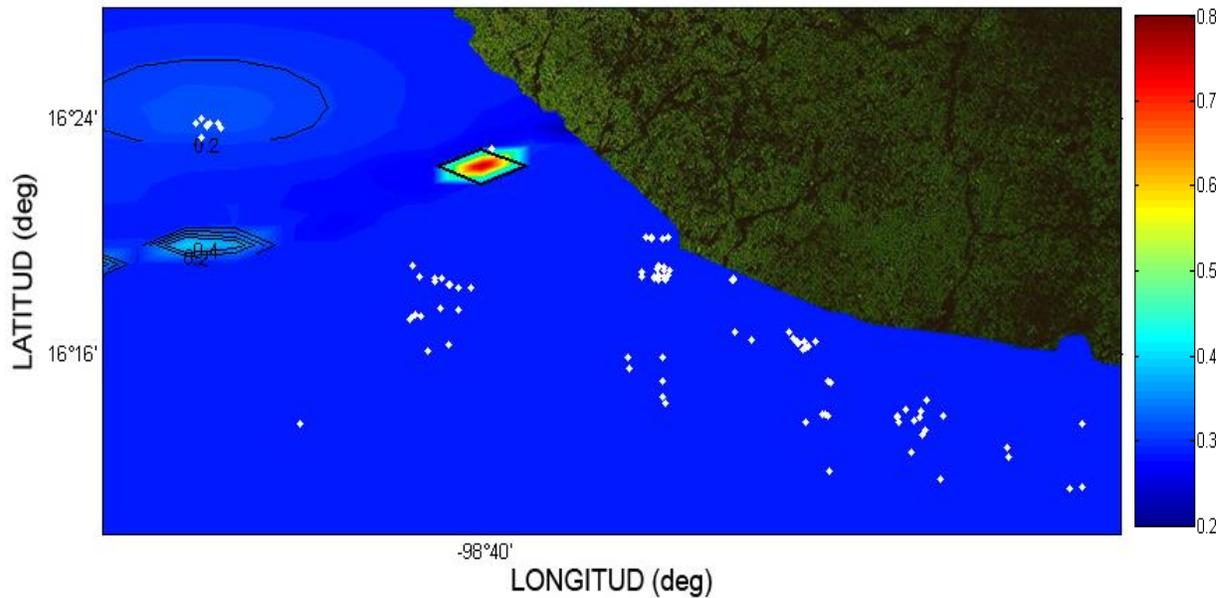


Figura 58: Kriging realizado para región IN2 con base en el tipo de interacción con arte de pesca, los puntos en blanco representan la ubicación de los puntos georreferenciados y la escala a los valores predichos.

Tabla 27: Resumen de las características usadas en el análisis kriging de la región IN2 con base en el tipo de interacción con arte de pesca.

Características del variograma	
Preparación de datos	182 puntos georreferenciados ordenados de manera longitudinal de menor a mayor
Tipo de modelo de ajuste para el variograma	Modelo esférico
Tipo de kriging	Ordinario, punto por punto. Media de los residuales = -0.03 Varianza de los residuales = 30.50
Validación	Estimación del error (σ/\sqrt{n}) = ± 0.017 Estimación de los puntos observados vs. Puntos predichos (Figura 58)

Nota: Validación a un intervalo de confianza al 95%.

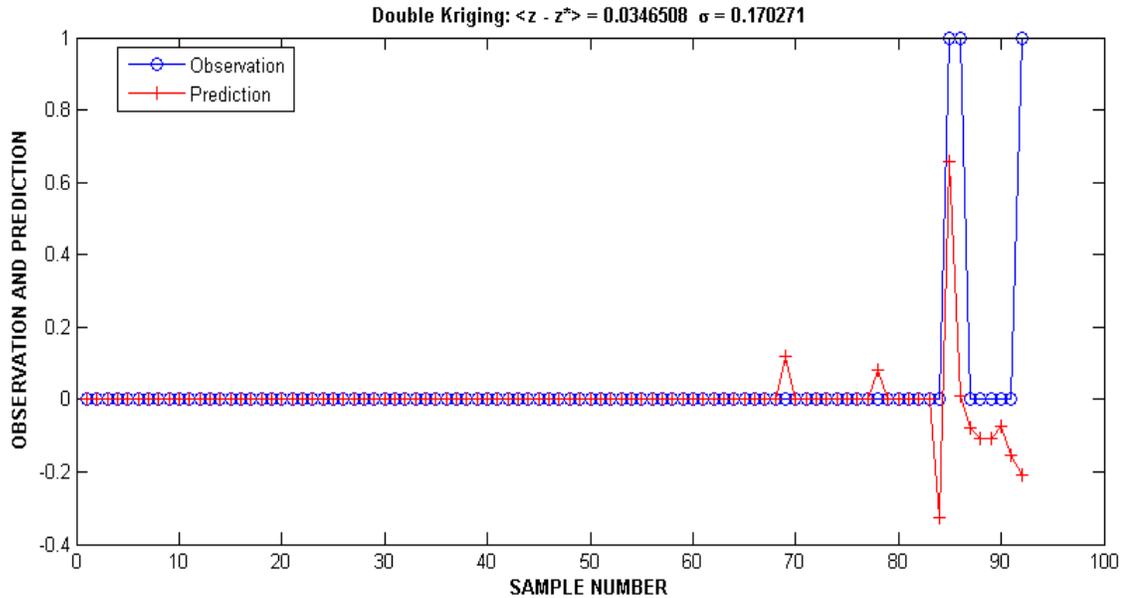


Figura 59: Grafica de valores observados vs. valores predichos por el kriging de la región IN2 con base en el tipo de interacción con arte de pesca.

La región 3, también denominada IN3 para el resto del estudio, está formada por las zona de pesca SALE, MOGO y CORR. Se caracteriza debido a que la principal interacción por parte de las tres especies de tortuga marina es nadar y por tener el mayor porcentaje de alimentación de todas las regiones (figura 60).

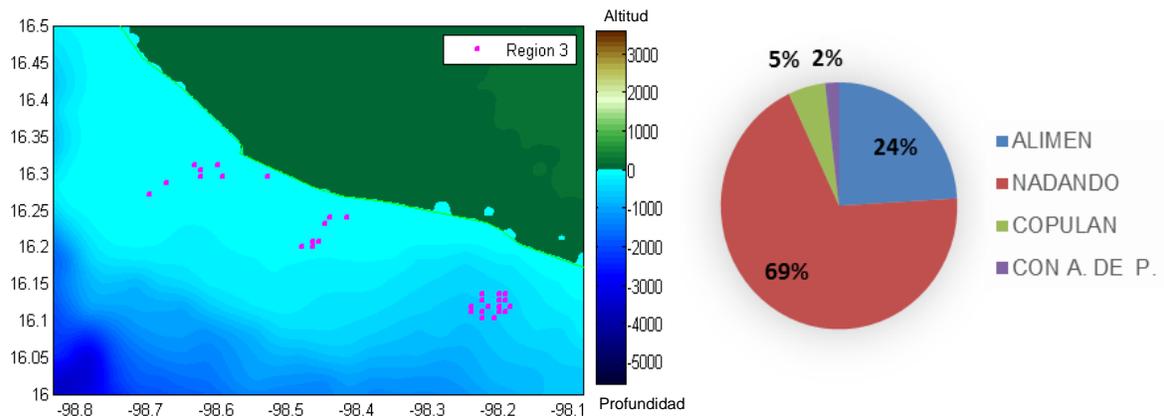


Figura 60: Mapa y grafica de la región IN3 en términos del tipo de interacción entre las pesquerías artesanales y las tres especies de tortuga marina.

Una vez obtenida la región geográfica IN3 se realizó un kriging para poder obtener una estimación de la probabilidad de interacción para cada una de los cuatro tipos a lo largo de toda la región (Figura 61, 63, 65 y 67), cada una de ellas con un resumen de sus características (Tablas 28, 29, 30 y 31).

En el kriging correspondiente al tipo de interacción “alimentándose”, y se puede observar que existe mayor probabilidad concentrada en la zona de CORR.

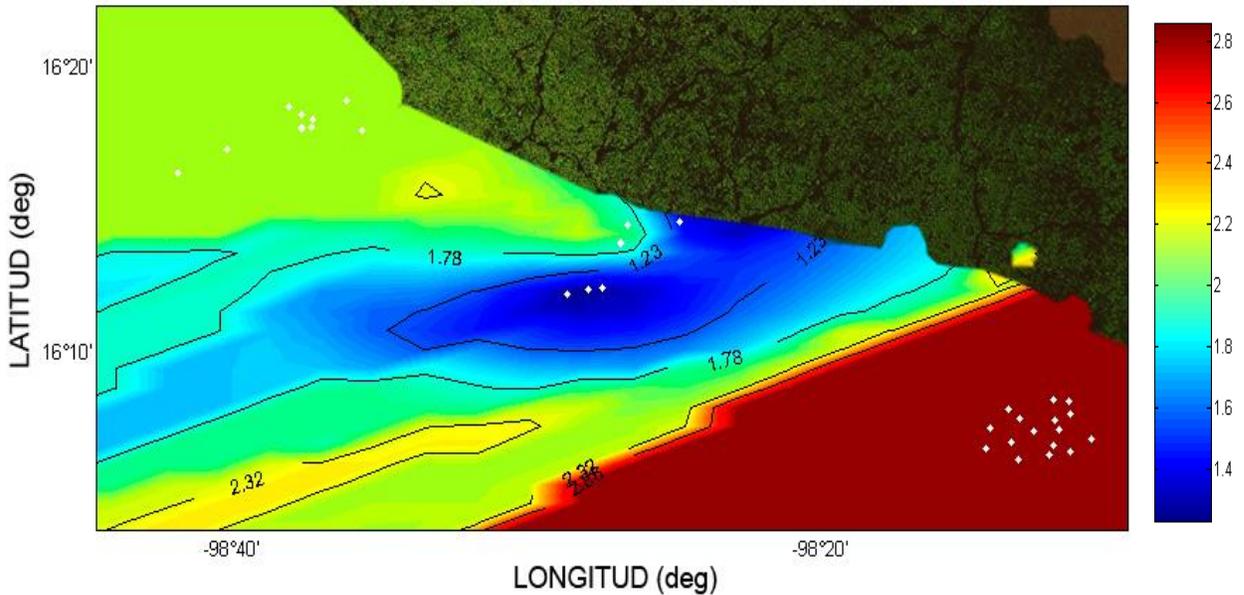


Figura 6115: Kriging realizado para región IN3 con base en el tipo de interacción alimentándose, los puntos en blanco representan la ubicación de los puntos georreferenciados y la escala a los valores predichos.

Tabla 28: Resumen de las características usadas en el análisis kriging de la región IN3 con base en el tipo de interacción alimentándose.

Características del variograma	
Preparación de datos	49 puntos georreferenciados ordenados de manera longitudinal de menor a mayor
Tipo de modelo de ajuste para el variograma	Modelo esférico
Tipo de kriging	Ordinario, punto por punto. Media de los residuales = -0.22 Varianza de los residuales = 1.32
Validación	Estimación del error (σ/\sqrt{n}) = ± 0.102 Estimación de los puntos observados vs. Puntos predichos (Figura 61)

Nota: Validación a un intervalo de confianza al 95%.

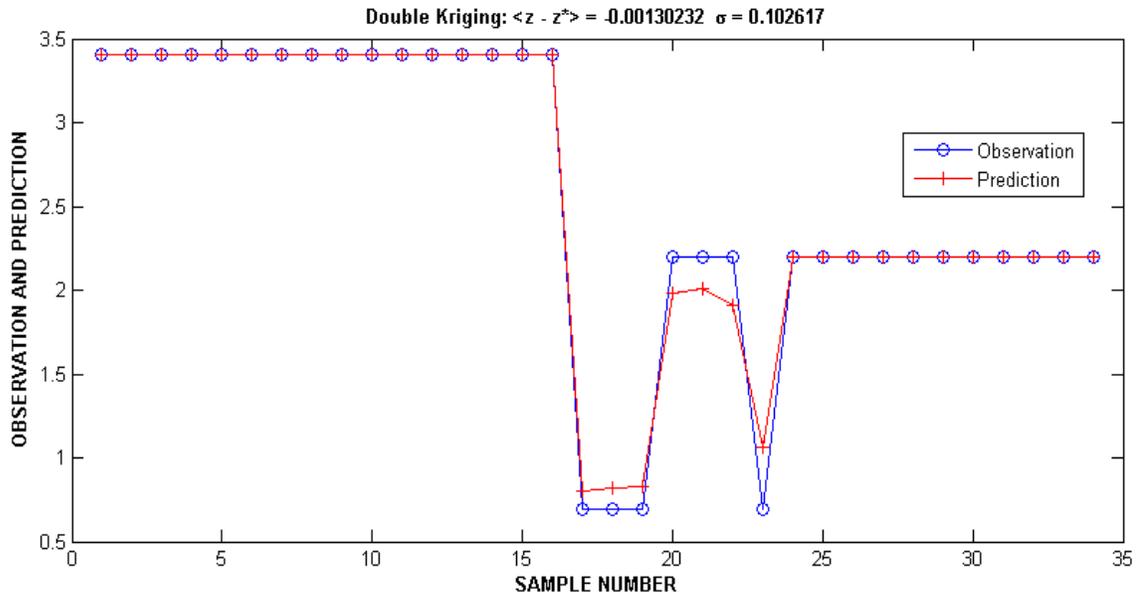


Figura 62: Grafica de valores observados vs. valores predichos por el kriging de la región IN3 con base en el tipo de interacción alimentándose.

En el kriging correspondiente al tipo de interacción “nadando”, y se puede observar que existe mayor probabilidad concentrada en la zona de MOGO.

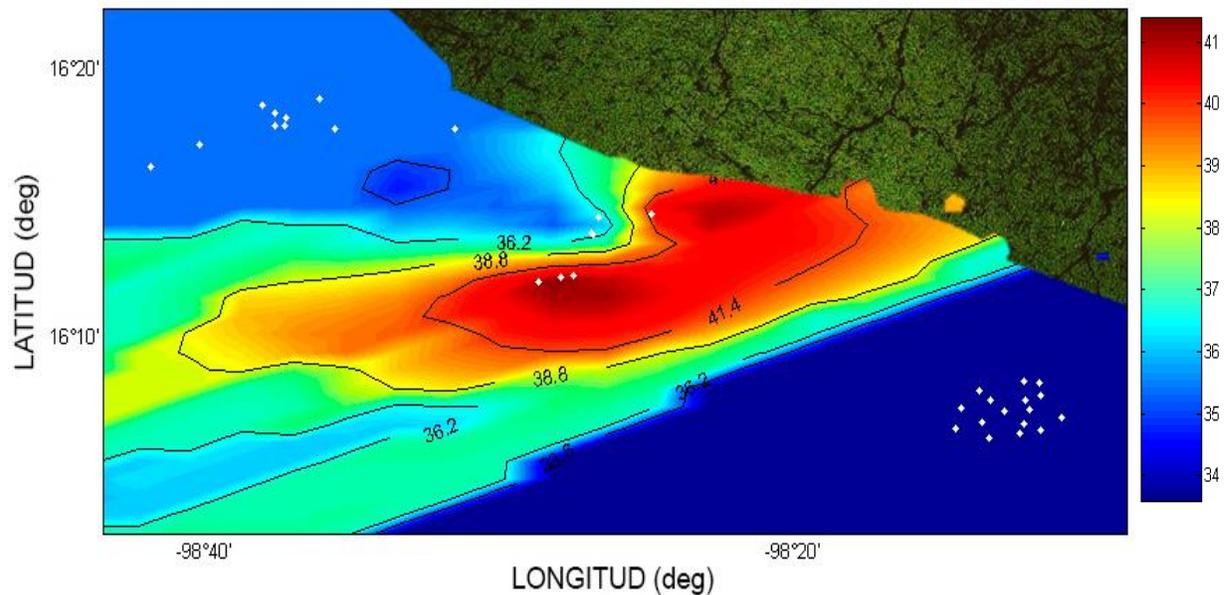


Figura 63: Kriging realizado para región IN3 con base en el tipo de interacción nadando, los puntos en blanco representan la ubicación de los puntos georreferenciados y la escala a los valores predichos.

Tabla 29: Resumen de las características usadas en el análisis kriging de la región IN3 con base en el tipo de interacción nadando.

Características del variograma	
Preparación de datos	49 puntos georreferenciados ordenados de manera longitudinal de menor a mayor
Tipo de modelo de ajuste para el variograma	Modelo esférico
Tipo de kriging	Ordinario, punto por punto. Media de los residuales = -0.05 Varianza de los residuales = 1.039
Validación	Estimación del error (σ/\sqrt{n}) = ± 0.67 Estimación de los puntos observados vs. Puntos predichos (Figura 63)

Nota: Validación a un intervalo de confianza al 95%.

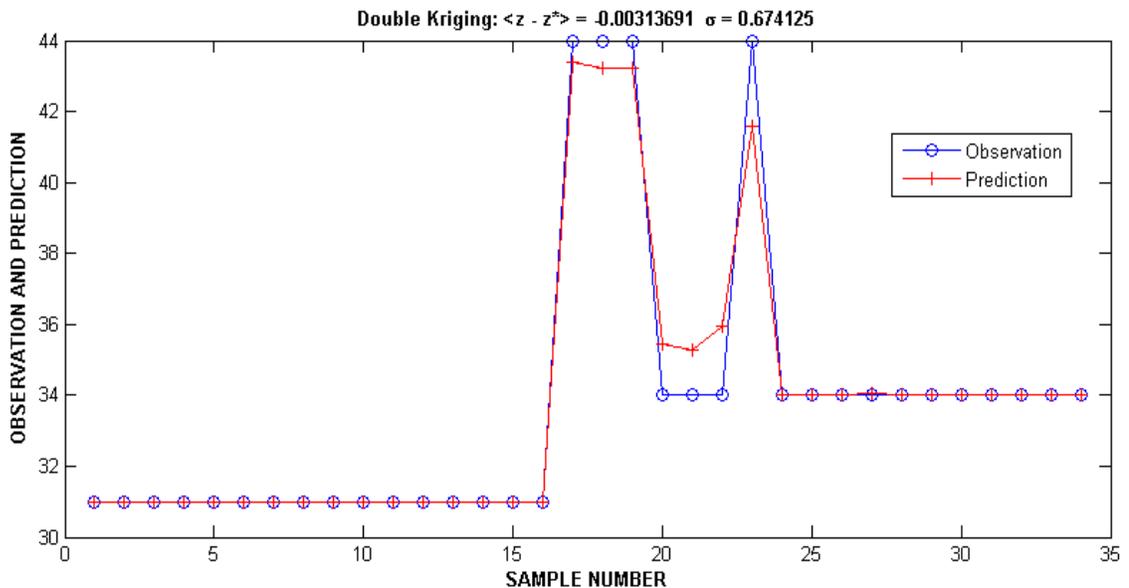


Figura 64: Grafica de valores observados vs. valores predichos por el kriging de la región IN3 con base en el tipo de interacción nadando.

En el kriging correspondiente al tipo de interacción “copulando”, y se puede observar que existe mayor probabilidad se concentra en la zona de MOGO

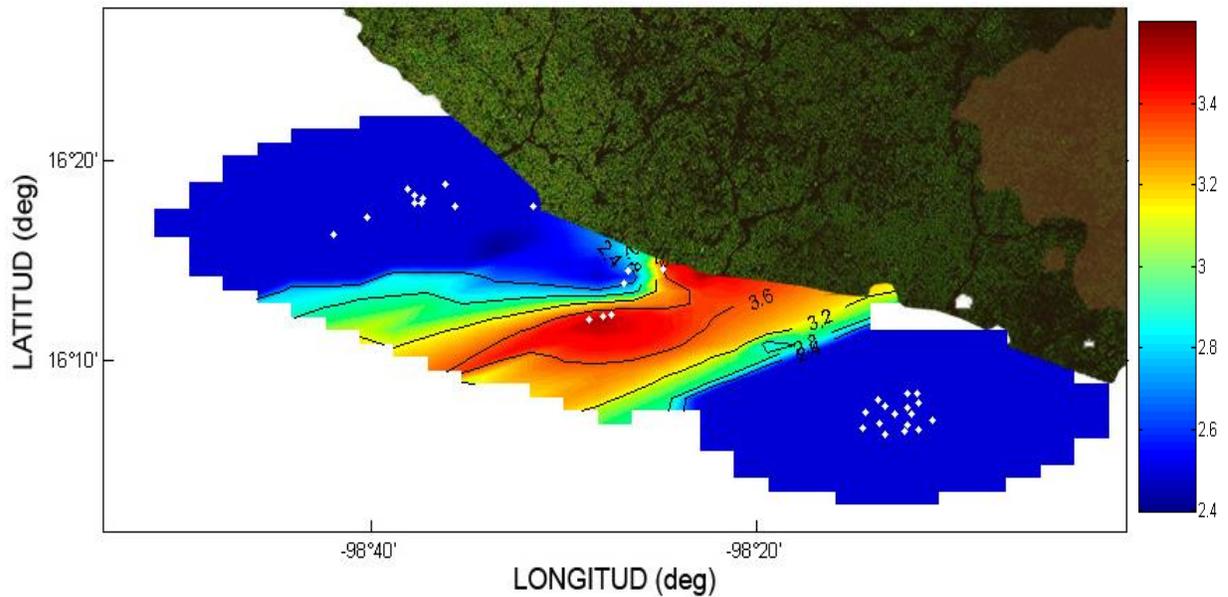


Figura 6516: Kriging realizado para región IN3 con base en el tipo de interacción copulando, los puntos en blanco representan la ubicación de los puntos georreferenciados y la escala a los valores predichos.

Tabla 30: Resumen de las características usadas en el análisis kriging de la región IN3 con base en el tipo de interacción copulando.

Características del variograma	
Preparación de datos	49 puntos georreferenciados ordenados de manera longitudinal de menor a mayor
Tipo de modelo de ajuste para el variograma	Modelo esférico
Tipo de kriging	Ordinario, punto por punto. Media de los residuales = 0.48 Varianza de los residuales = 0.97
Validación	Estimación del error (σ/\sqrt{n}) = ± 0.125 Estimación de los puntos observados vs. Puntos predichos (Figura 65)

Nota: Validación a un intervalo de confianza al 95%.

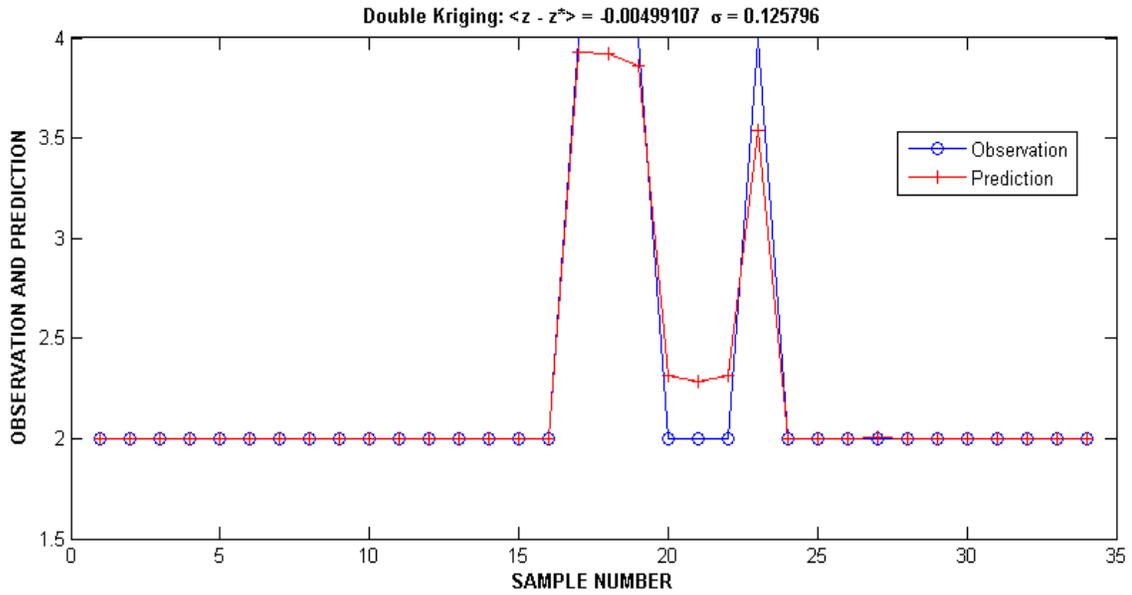


Figura 66: Grafica de valores observados vs. valores predichos por el kriging de la región IN3 con base en el tipo de interacción copulando.

En el kriging correspondiente al tipo de interacción “con arte de pesca”, y se puede observar que existe mayor probabilidad concentrada en la zona norte de la región SALE.

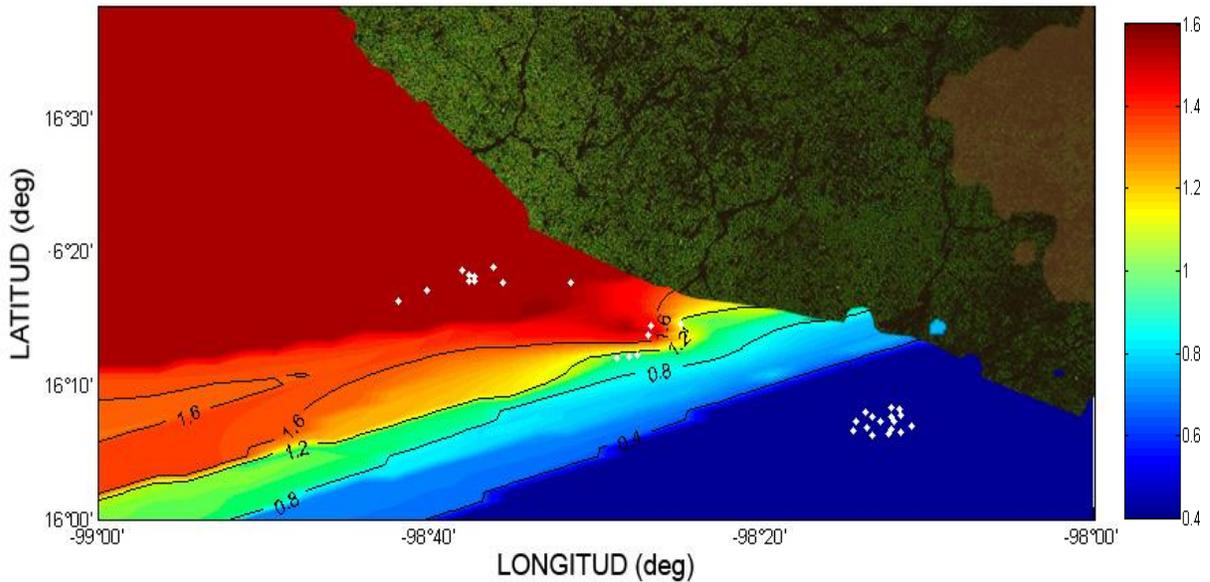


Figura 6717: Kriging realizado para región IN3 con base en el tipo de interacción con artes de pesca, los puntos en blanco representan la ubicación de los puntos georreferenciados y la escala a los valores predichos.

Tabla 31: Resumen de las características usadas en el análisis kriging de la región IN3 con base en el tipo de interacción con arte de pesca.

Características del variograma	
Preparación de datos	49 puntos georreferenciados ordenados de manera longitudinal de menor a mayor
Tipo de modelo de ajuste para el variograma	Modelo exponencial
Tipo de kriging	Ordinario, punto por punto. Media de los residuales = 0.185 Varianza de los residuales = 1.03
Validación	Error de la estimación $(\sigma/\sqrt{n}) = \pm .064$ Estimación de los puntos observados vs. Puntos predichos (Figura 67)

Nota: Validación a un intervalo de confianza al 95%.

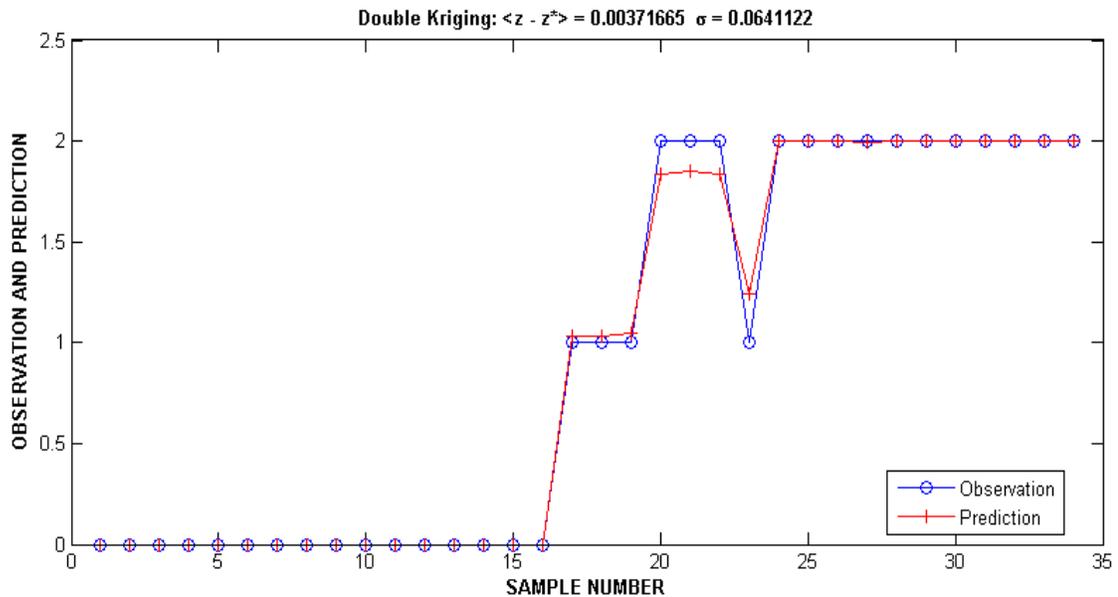


Figura 68: Grafica de valores observados vs. valores predichos por el kriging de la región IN3 con base en el tipo de interacción con arte de pesca.

6.4 Telemetría satelital

Se adquirieron y colocaron exitosamente cuatro transmisores programados en los parámetros que se consideraron más apropiados para cubrir las necesidades del proyecto. La información referente a los transmisores y a las hembras a las que se colocaron los transmisores se muestra en la tabla 32.

Tabla 32: Resumen de las características de las tortugas con trasmisor satelital.

Tortuga	CAHUITENA	PAULINA	COLORADA	LUCHA
Fecha	24/11/2013	26-27/11/2013	28/11/2013	08/12/2011
Playa	Cahuitán	Cahuitán	Tierra colorada	Tierra colorada
Estación	Llano grande		Colorada-Vigia	Colorada-Pico de monte
No. de transmisor	134561	134562	134563	134564
Hora de colocación	21:06	01:22	00:05	00:45
Ultima fecha de transmisión	2014/02/16 11:20:46	2014/02/24 10:09:33	2014/02/11 11:25:23	2014/04/01 01:52:17
PIT	132344222A		43040002	132122360A
Hombro	Derecho	Derecha	Derecho	Derecho
Tipo de marca	Metálica	Metálica	Metálica	Metálica
No. de marca	MS950		MS993	MS991
Leyenda	Ninguna		NOAA	NOAA
Aleta	Izquierda		Izquierda	Izquierda
Actividad	Pozo	Pozo	Pozo	Subiendo
Zona	B	B	B	B
Núm. de nido	371		693	723
Huevos puestos	47		87	50
Largo de caparazón (cm)	141		138	141
Ancho de caparazón (cm)	104		104	103

Se monitorearon las actividades de las tortugas durante todo el tiempo que estuvieron transmitiendo y se obtuvo una base de datos 19376 transmisiones en conjunto, de igual manera se obtuvieron mapas para cada uno de las tortugas (figura 68) con su ubicación aproximada. Se debe aclarar que estos mapas dependen completamente del sistema ARGOS y no fue posible filtrar las ubicaciones con los errores de medición más grandes.

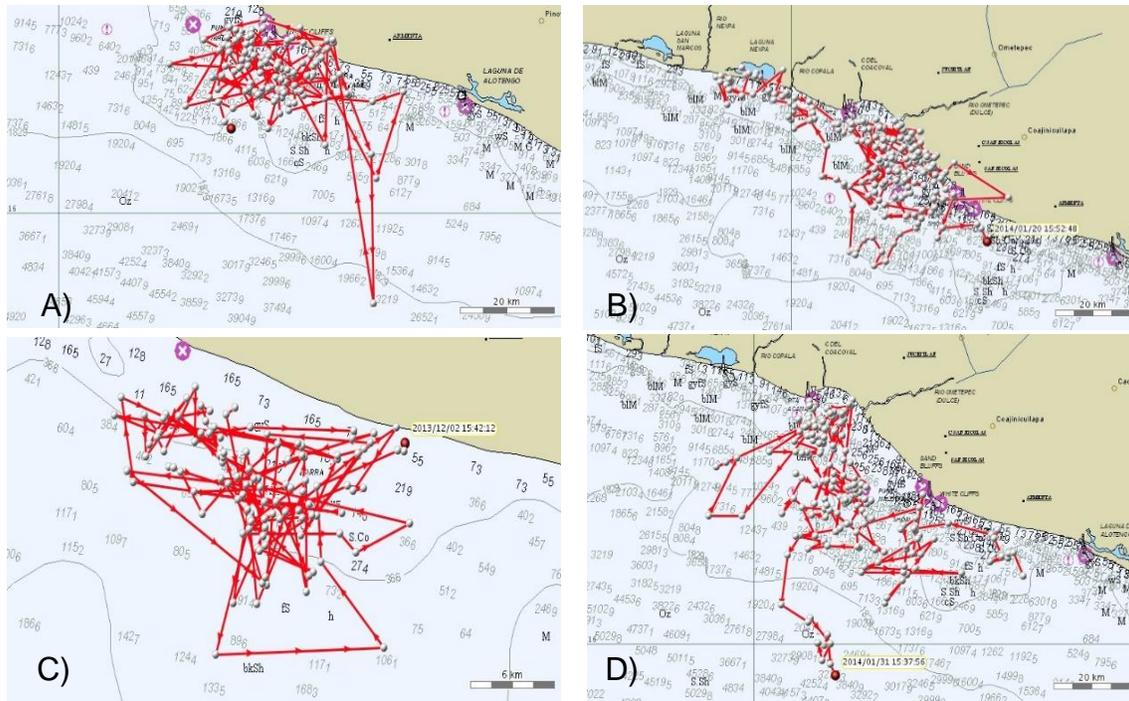


Figura 69: Mapas de ubicación de los transmisores colocados en tortugas marinas, directamente del sistema ARGOS. a) Transmisor de la tortuga “Cahuiteña”, b) Transmisor de la tortuga “Colorada”, c) Transmisor de la tortuga “Colorada” y d) Transmisor de la tortuga “Lucha”.

Los datos registrados fueron traducidos a formatos más comunes con la ayuda del Dr. Jeffrey Alexander Seminoff de la National Oceanic and Atmospheric Administration fisheries Service (NOAA) y de la misma forma bajo su administración se creó una cuenta dentro de la organización “Seaturtle.org” a partir del 24 de junio de 2014 lo cual permitió trabajar con el software STAT y MAPTOOL, y dar una interpretación más clara de los datos de cada transmisor.

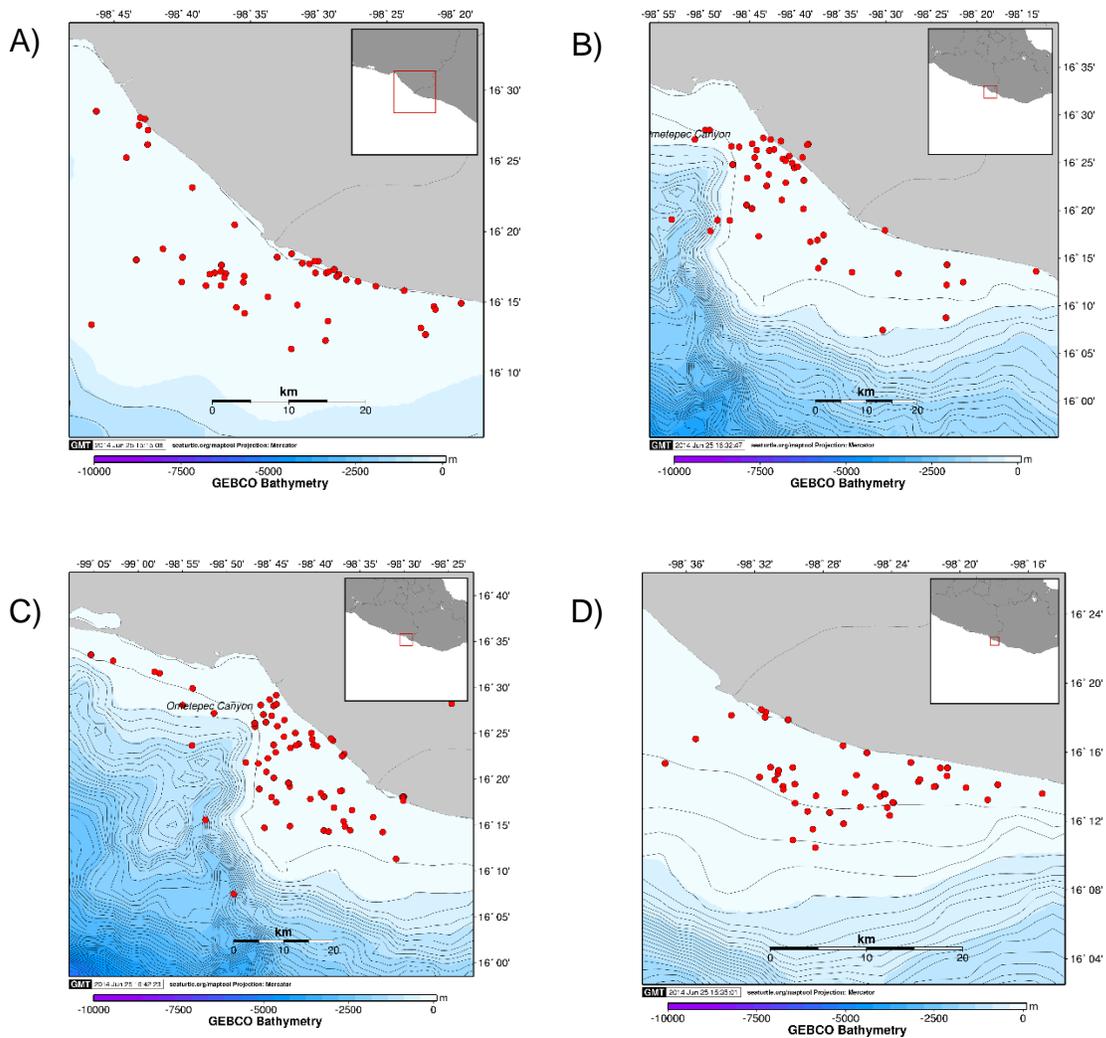


Figura 70: Mapas de ubicación de cada uno de los transmisores colocados en tortugas marinas durante la época de interanidación frente a las playas de Tierra Colorada y Cahuitán, filtrados en Maptool. a) Transmisor de la tortuga “Cahuiteña”, b) transmisor de la tortuga “Colorada”, c) transmisor de la tortuga “Paulina” y d) transmisor de la tortuga “Lucha”.

Por lo menos 3 de las 4 tortugas observadas a través de telemetría satelital anidaron intercambiando las playas de Tierra Colorada y Cahuitán. Todas mostraron una gran movilidad a través de toda el área de estudio, sin mostrar preferencia por alguna zona en partículas durante el tiempo de interanidación o por lo menos no se puede determinar sin utilizar algún otro análisis.

7. DISCUSIONES

Si se toma en cuenta que dependiendo de la escala, la dificultad de georreferenciar especies vágiles como las tortugas puede ser desde algo relativamente sencillo hasta algo altamente complicado. Hoy en día y gracias a la información obtenida durante varios años por observadores y pescadores, además del uso de telemetría satelital se ha permitido describir una delimitación de los hábitats de alto uso en las áreas de interanidación, rutas migratorias en alta mar y áreas de alimentación, en el pacífico oriental Mexicano (Guardado, 2007). El hecho de que los movimientos de estas especies de tortugas marinas están concentrados principalmente en un área relativamente pequeña y cercana a las playas de anidación, como lo es en el caso de las áreas de interanidación, sugiere que las tortugas marinas son muy susceptibles a amenazas antropogénicas que son explícitamente espaciales y que aún no están documentadas completamente para poder tener una mejor comprensión de lo que ocurre en ellas. Sin embargo, según estudios sobre la problemática de las poblaciones de tortugas marinas y su interacción con las flotas pesqueras artesanales en la zona de estudio sugieren que las interacciones entre la pesquería ribereña y las tortugas marinas, pueden llegar a afectar las poblaciones de estas especies (Rodríguez-Valencia y Cisneros-Mata, 2006; Bourillón *et al.*, 2012; Sarti y García, 1999). Varios trabajos sobre la conservación de tortugas marinas han propuesto en otros lugares de México, estrategias para reducir esta afectación, entre las cuales se cuentan: el cierre temporal de áreas críticas, suspensión de actividades pesqueras y navegación, prohibición o adecuación de determinados artes de pesca y últimamente han sido muy difundidos los programas de observación a bordo de embarcaciones, entre otros.

Todas estas estrategias deben ser analizadas dependiendo del lugar en el cual sean implementadas. En este trabajo se estudian las interacciones de las poblaciones de tortuga con el sector pesquero ribereño desde el punto de vista geoestadístico y pretendió caracterizar dichas interacciones para así poder generar la información necesaria a forma de diagnóstico, para ayudar a la toma de decisiones y para lograr implementar estrategias de conservación de tortugas marinas. Más aún, con los datos obtenidos se identificaron, por medio de modelos geoestadísticos de predicción (kriging), las zonas

donde sería más factible apoyar modificaciones al sistema actual bajo el que operan las pesquerías del área de estudio, buscando el beneficio para ambas partes.

7.1 Discusiones por abundancia de especies

En lo que corresponde a la pesca artesanal, se identificaron cuatro regiones geográficas con base en la riqueza de especies presentes en cada una de ellas (figura 8). Para esto se tuvo en cuenta que la pesca artesanal en la zona de estudio, por sus características, es muy fluctuante de una especie a otra por diversos factores. No obstante, pero que rara vez sus embarcaciones cuentan con más de un arte de pesca por jornada, o con la tecnología para poder buscar nuevos sitios de pesca, esto permite poder asociar dichos sitios a un arte y método de pesca preferencial y todo lo que implica su uso. Por ejemplo, es bien sabido que cada arte de pesca tiene una selectividad determinada ya sea por sus características inherentes o por las cuestiones de armado que requiere. En el caso de la región AB1, se muestra una fuerte preferencia de langosta, por ende se puede asociar su arte y método de pesca, el “trasmallo langostero” y a su vez al tipo de interacción que se tiene registrado con las especies de tortuga marina, esto puede dar una idea más clara desde el punto de vista del manejo pesquero, de qué pesquería requiere mayor atención por tener potencialmente una mayor probabilidad de una interacción específica.

Bourillón *et al.* (2012) estableció para el caso de esta zona de estudio las características de cada pesquería y su arte y método de pesca, con base en ello se sabe que la pesquería de Huachinango es la más importante y el arte de pesca principal de ésta es la cuerda y el anzuelo, pero debido a su operación esta pesquería (o arte de pesca) presenta un menor riesgo para las tortugas. Sin embargo, también estableció que el mayor número de interacciones directas con artes de pesca se da en el “trasmallo” en sus dos métodos, de altura o de fondo. Dentro de las pesquerías artesanales presentes, la pesquería de sierra y blanco son las que utilizan en mayor medida este método; las pesquerías de flamenco, langosta y huachinango usan este método en menor medida, por lo tanto las medidas a considerar deben ser ajustadas para cada diferente área.

Sumando esa información al resultado obtenido en este trabajo se puede indicar que cada una de las regiones tiene diferentes necesidades, por ejemplo la región AB2 tiene

una mayor necesidad para el establecimiento de normativas y acciones pesqueras que permitan un mejor desarrollo de las pesquerías de huachinango y promuevan el mantenimiento del arte y método de pesca “cuerda y anzuelo”, mientras que la región AB1 al presentar una clara dominancia por la pesquería de langosta con su arte y método de pesca, el “trasmallo langostero”, éste al ser un adaptación reciente requeriría un esfuerzo para determinar las características de dicho arte de pesca. Por otro lado las regiones AB3 y AB4 donde la abundancia predominante se da en las especies que son objetivo del arte de pesca “trasmallo” en sus dos métodos, de superficie y de fondo, son las zonas sobre las cuales se sugiere un mayor esfuerzo por sustituir o en su defecto regular las características y el funcionamiento de este arte a fin de disminuir al mínimo la probabilidad de pesca incidental que puede llegar a tener con las especies de tortuga marina.

7.2 Discusiones por avistamiento de especies.

Otra de las aproximaciones que se realizaron en este estudio para poder comprender mejor las dinámicas que ocurren en la zona de estudio consistió en demostrar, mediante el uso de la estadística, la probabilidad de una asociación entre las diferentes especies de tortuga y las principales especies objetivo de la pesca ribereña. Esto en el entendido de que para este caso la asociaciones se dan en términos de distribución geográfica, es decir, el vínculo principal de la asociación se da por el hecho de compartir las mismas zonas geográficas, pero no se descarta la posibilidad de que esta asociación también pueda darse por diferentes características que compartan las especies a pesar de no tener una relación directa en su ciclo de vida.

Debido a la naturaleza de los datos y a las limitaciones de la aproximación frecuencista de la estadística, esta no permitió demostrar asociación alguna entre grupos. Por otra parte, la aproximación bayesiana permitió demostrar la probabilidad de tener tres tipos de asociaciones, Laúd-Huachinango, Prieta-Blanco y Golfina-Blanco, corroborando lo propuesto por Bourillón *et al.* (2013). Basados en estas asociaciones la determinación de las regiones geográficas (Figura 19) resultaron en tres regiones, de las cuales se puede inferir lo siguiente:

El relación a la asociación de Tortuga Laúd con Huachinango, las regiones AV1 y AV2 (Figuras 20 y 27, respectivamente) presentan una mayor probabilidad de tener avistamientos de estas especies al norte y al sur del área de estudio, siendo la región AV2, la cual está ubicada más al norte, la que presenta la mayor probabilidad de presentar esta interacción. Desde el punto de vista concerniente a conservación, esto la hace candidata a ser un posible “hot spot”, término acuñado por Myers en 1998 y que se puede definir como un área donde hay una especial concentración de biodiversidad amenazada. Esto resalta el valor potencial de poder trabajar en medidas de mitigación para reducir los impactos en el mar. Estas medidas pueden ser la imposición de una veda espacio-temporal del recurso asociado, el fomentar el uso de un arte de pesca específico, promover otras actividades de ecoturismo, etc. De la misma manera, desde el punto de vista pesquero, ésta es la zona donde se concentra la mayor producción de huachinango, la principal especie comercial de la pesquería artesanal de la zona (Martínez *et al.*, 2012) y por lo tanto el mayor esfuerzo pesquero. Ya que el tipo de arte y método de pesca característico de esta pesquería (cuerda y anzuelo) es el que menos recurrencia de pesca incidental presenta, este estudio permitiría el desarrollo de programas que con el objetivo de reforzar la utilización de este arte, concientización para pescadores e incluso programas de observadores.

En relación a la tortuga golfinia y la tortuga prieta con blanco, la región AV3 (figura 30) ubica una mayor probabilidad de tener avistamientos en la zona concentrada al centro del área de estudio, aunque también muestra lugares que se traslapan en las demás zonas y al tener la probabilidad de tener dos especies de tortuga, también presentan potencial para poder trabajar en medidas de mitigación, sobre todo si a esto se le suma el hecho de que las artes y método de pesca para esta especie (trasmallo de deriva) presentan una considerable ocurrencia de pesca incidental. Por lo tanto esta zona podría ser candidata a programas para la sustitución o la regulación del arte y método utilizado.

7.3 Discusiones por tipo de interacciones.

Hay que recordar que para la presente investigación se considera como interacción al hecho de que la tortuga se encuentre en la misma zona geográfica al momento de que

se realice la jornada de pesca, y que éstas a su vez fueron divididas en cuatro tipos: nadando, alimentándose, copulando y directamente con arte de pesca. La determinación de regiones mediante este tipo de interacciones presenta una gran oportunidad de poder definir los sitios dentro del área de estudio, donde las diferentes especies de tortugas marinas tienen preferencias específicas. El poder tener una idea de lo anterior podría motivar a la creación de trabajos más enfocados y ayudar a la creación de estrategias de conservación más eficientes para las especies de tortuga marina.

A pesar de que de manera general la interacción más común de toda la zona de estudio fue “nadando”, se pudieron agrupar 3 regiones (figura 40) con base en los otros tipos de interacciones. Además se realizó una predicción (kriging) para cada tipo de interacción con la intención de poder obtener una estimación de la distribución geográfica dentro de la región. Por ejemplo, la región IN1 destaca de las demás por tener el mayor porcentaje de interacción “con arte de pesca” y el kriging indica que la probabilidad es mayor conforme se aleja de la costa. La región IN2 tiene el mayor porcentaje de la interacción “copulando” y el kriging indica que la mayor probabilidad se concentra en el centro de la región. Finalmente, la región IN3 se caracteriza por tener un mayor porcentaje del tipo de interacción “alimentándose”, donde el kriging agrupa los mayores valores de probabilidad en la zona más sureña de la región.

7.4 Telemetría satelital

Los datos obtenidos a través del uso de la telemetría satelital permiten corroborar que si es factible la asociación Laúd – Huachinango, esto debido a que las cuatro tortugas marcadas presentan convergencia dentro de la región AB2 (figura 10) caracterizada por tener una abundancia predominante de huachinango. Esto a pesar de que las cuatro tortugas parecen utilizar toda el área de pesca.

8. CONCLUSIONES

La presente investigación pretende ampliar el conocimiento de las características de las pesquerías artesanales que se realizan en las comunidades y que tienen interacciones con las tortugas marinas que utilizan las playas de Tierra Colorada y Cahuitán, desde el punto de vista de la geoestadística. Se espera que de esta forma se convierta en una herramienta útil y que contribuya al desarrollo de soluciones integrales a la problemática existente.

Como conclusión final, toda la información relevante se presenta en una ficha ejecutiva, con el objetivo de tener una visión completa y que ésta sea fácil de asimilar por cualquier actor y pueda ser utilizada para la toma de decisiones.

Un modelo geoestadístico para evaluar la interacción entre tortuga marina y las pesquerías artesanales frente a las playas de anidación en Guerrero y Oaxaca, México.

Tabla 33: Ficha ejecutiva de la investigación.

REGIÓN DEL ESTUDIO	
Zona de estudio	Región de costa chica Guerrero, México.
Áreas Naturales Protegidas	<ul style="list-style-type: none"> • Santuario Playa Tierra Colorada • Sitio Ramsar Playa Cahuitán (en proceso de decreto para santuario)
Comunidades y/o campos pesqueros	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Barra de Tecuanapa, Guerrero. ▪ Punta Maldonado, Guerrero. ▪ Corralero, Oaxaca.
Principales especies comerciales en orden de importancia	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Huachinango (<i>Lutjanus peru</i>) ▪ Flamenco (<i>Lutjanus guttatus</i>) ▪ Sierra (<i>Scomberomorus sierra</i>) ▪ Langosta (<i>Panulirus gracilis</i>) ▪ Blanco (<i>Caulolatilus princeps</i>) ▪ Cocinero (<i>Caranx caballus</i>)

Especies protegida y estatus de conservación	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Laúd (<i>Dermochelys coriácea</i>), NOM-59 En peligro de extinción ▪ Golfina (<i>Lepidochelys olivacea</i>) NOM-59 En peligro de extinción ▪ Prieta (<i>Chelonia mydas</i>) NOM-59 En peligro de extinción
Regiones por abundancia	<p>Se determinaron cuatro regiones por la abundancia de especies :</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Región AB1 caracterizada por tener la mayor abundancia de langosta. ▪ Región AB2 caracterizada por tener la mayor abundancia de huachinango. ▪ Región AB3 caracterizada por tener la mayor abundancia de flamenco. ▪ Región AB4 caracterizada por tener la mayor abundancia de cocinero y sierra
Asociaciones	<p>Mediante la aproximación de la estadística bayesiana se demostró que existen tres asociaciones entre seis de las principales especies comerciales y las tres especies de tortuga marina</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Tortuga laúd-Huachinango ▪ Tortuga golfina-Blanco ▪ Tortuga prieta-Blanco
Regiones por avistamiento de especies	<p>Se determinaron tres regiones en base a la probabilidad de tener avistamientos de las principales especies de pesca y sus asociaciones con las tortugas marinas</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Región AV1 presenta una mayoría de la interacción laúd - huachinango (57%) y una presencia casi igualitaria de la asociación golfina-blanco (22%) y de la asociación prieta-blanco (21%) ▪ Región AV2 caracterizada por tener una clara preferencia en la asociación laúd - huachinango (99%) ▪ Región AV3 presenta una mayoría compartida de la asociación golfina-blanco (45%) y de la asociación prieta-blanco (44%) y una minoría de asociación laúd - huachinango (11%)
Interacciones	<p>Los avistamientos de la tortugas en las jornadas de pesca se observaron en las zonas de pesca denominadas: El Bajo (32.9%), Salema (17.8%), Faro (9.9%), Mogote (8.9%), La "24" (3.7%) y la Calavera (2.6%). En total se registraron 26 zonas de avistamientos.</p>

	De los avistamientos se determinó el tipo de interacción, estas se dividieron en cuatro: nadando (69.4%), Alimentándose (19.7%), copulando (7.3%) y con artes de pesca (7.3%).
Regiones por tipo de interacción	Se determinaron tres regiones por tipo de interacción: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Región IN1 caracterizada por tener el mayor porcentaje de interacción “con arte de pesca” ▪ Región IN2 caracterizada por tener el mayor porcentaje de interacción “copulando” ▪ Región IN3 caracterizada por tener el mayor porcentaje de interacción “alimentándose”
Análisis estadístico	Se sugiere el uso de la estadística bayesiana aunado a la estadística frecuencista, para obtener una mejor interpretación de este tipo de datos.
Calibración por telemetría satelital	La telemetría satelital reafirma la importancia del área para la tortuga laúd, pero con la cantidad de trasmisores puestos no fue suficiente para poder asegurar que existe una zona preferente de agrupación por esta especie.

9. RECOMENDACIONES

Se recomienda establecer e implementar planes de manejo para las diferentes pesquerías, sobre todo para la de huachinango por ser la principal, éstas deben enfocarse en el uso de artes de pesca con menor probabilidad de afectar a las tortugas marinas. La aplicación de instrumentos de manejo pesqueros como zonas de no pesca, zonas de refugio, establecimiento de cuotas, vedas estacionales, reservas marinas, artes de pesca selectivos, concesiones, etc., deben de ser estudiadas para cada una de las regiones en busca de la mejor alternativa para los fines de conservación.

Se considera indispensable la colaboración con el Instituto Nacional de Pesca (INAPESCA), así como de la CONAPESCA con la Comisión Natural de Áreas Naturales Protegidas (CONANP) en un trabajo conjunto que permita el mayor éxito de las estrategias y que generen beneficios para los diferentes actores involucrados, desde la conservación de los recursos naturales hasta los pescadores que extraen directamente los recursos pesqueros

Se exhorta a continuar con los proyectos de telemetría en tortuga laúd con el fin de poder determinar con mayor precisión las diferentes zonas que ocupa la especie dentro del periodo de inter-anidación.

10. LISTA DE REFERENCIAS

- Abarca-Arenas, L. G., Franco-López, J., Chávez-López, R., Arceo-Carranza, D., & Moran-Silva, A. (2004). Trophic analysis of the fish community taken as bycatch of shrimp trawls off the coast of Alvarado, Mexico. In *Proc. Gulf Carib. Fish. Inst* (Vol. 55, pp. 384-394).
- Alejo-Plata, M. C., Cerdenares-Ladrón de Guevara, G., & Herrera-Galindo, J. E. (2001). Cefalópodos loliginidos en la fauna de acompañamiento del camarón. *Cienc. Mar*, 5, 41-46
- Arreguín-Sánchez, F., & Calderón-Aguilera, L. E. (2002). Evaluating harvesting strategies for fisheries in the Central Gulf of California ecosystem. *Fisheries Centre Research Reports*, 10(2), 135.
- Banerjee, S., Gelfand, A. E., & Carlin, B. P. (2004). *Hierarchical modeling and analysis for spatial data*. Crc Press.
- Bourillón L., E. Torreblanca, M. Gaona, J. M. Galaviz, D.J. Lira Reyes. 2012. Evaluación de la interacción de las pesquerías artesanales y las tortugas marinas, con énfasis en la tortuga laúd frente a las playas índice de anidación Tierra Colorada, Guerrero y Cahuitán, Oaxaca. Documento técnico No publicado. Centro de Investigación y Desarrollo Costero, S.C. Av. Ryerson N° 1307 Int. 1 Zona Centro. Ensenada, Baja California, 22800 México. 118 pp.
- Cohen, J. (2013). *Statistical power analysis for the behavioral sciences*. Routledge Academic.
- EIUNIVERSAL.BLOGS (2013). Blog Con-Ciencia CONACYT. Recuperado el 28 junio del 2014, de: http://blogs.eluniversal.com.mx/weblogs_detalle18343.html
- CONANP (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas) (2010) Programa de Acción para la Conservación de las Especies (PACE): Tortuga Laúd (*Dermochelys coriacea*). CONANP SEMARNAT. México. 46 pp.
- Cressie, N. y J. J. Majure. (1997). Spatio-temporal statistical modeling of livestock waste in streams. *Journal of Agricultural, Biological, and Environmental Statistics*:24-47.
- Diggle, P. J., Tawn, J. A., & Moyeed, R. A. (1998). Model-based geostatistics. *Journal of the Royal Statistical Society: Series C (Applied Statistics)*, 47(3), 299-350.
- Eckert, K. (2001). Estado de Conservación y Distribución de la tortuga Laúd, *Dermochelys coriacea*, en la Región del Gran Caribe. *Conservación de Tortugas Marinas en la Región del Gran Caribe-Un diálogo para el manejo Regional Efectivo*.

- Espinoza, E., Horrock, J., Ponc, F., Sarti, L., Márquez, R., Marcovaldi, N., and Seminoff, J. (2011) Estado de conservación y uso de habitats de la tortugas marinas en el Océano Pacífico Oriental.
- FAO (Food and Agriculture Organizations) (2004) Informe de la Consulta de Expertos sobre la Interacción entre las Tortugas Marinas y las Pesquerías en un Contexto Ecosistémico. Roma, Italia, 9-12 de marzo de 2004. FAO Informe de Pesca. No. 738. Roma, FAO. 2004. 40p.
- Flint, C., Harrower, M., & Edsall, R. (2000). But how does place matter? Using Bayesian networks to explore a structural definition of place. In *New Methodologies for the Social Sciences Conference. University of Colorado at Boulder.*
- Fossette, S., Corbel, H., Gaspar, P., Le Maho, Y., & Georges, J. Y. (2008). An alternative technique for the long-term satellite tracking of leatherback turtles. *Endangered species research, 4*, 33-41.
- Frazier, G. J. (1983). Análisis estadístico de la tortuga golfina *Lepidochelys olivacea* (Eschscholtz, 1829) de Oaxaca, México. *Ciencia Pesquera. Instituto Nacional de la Pesca. México, 125(4)*, 49-7.
- Fuentes Castellanos, D. (1996). Panorama de la pesca ribereña nacional. *Pesquerías relevantes de México (Instituto Nacional de la Pesca, Tomo II. 639-648 p.*
- Giraldo, R., Troncoso, W., Mancera, J., & Méndez, N. (2000). Geoestadística: una herramienta para la modelación en estuarios. *Rev. Acad. Col. Cienc, 24(90)*, 60-72.
- Giraldo-Henao, R. (2003). Introducción a la Geoestadística. Teoría y aplicación. *Bogotá, Facultad de Ciencias, Departamento de Estadística, Universidad Nacional de Colombia.*
- Gonzalez Ania, L. V., Ulloa-Ramírez, P. A., Lee, D. W., Brown, C. J., & Brown, C. A. (1998). Description of Gulf of Mexico longline fisheries based upon observer programs from Mexico and the United States. *International Commission for the Conservation of Atlantic Tunas (ICCAT) Collective Volume of Scientific Papers, 48*, 308-316.
- Goodchild, M. F. (1987). A spatial analytical perspective on geographical information systems. *International journal of geographical information system, 1(4)*, 327-334.
- Guardado, G. M. (2007). Pesca artesanal, comunidad y administración de recursos pesqueros. Experiencias en la costa de Michoacán, México. *Gazeta de Antropología, 23*.
- Kass, R. E., & Raftery, A. E. (1995). Bayes factors. *Journal of the american statistical association, 90(430)*, 773-795.

- Koch, V., Nichols, W. J., Peckham, H., & de la Toba, V. (2006). Estimates of sea turtle mortality from poaching and bycatch in Bahía Magdalena, Baja California Sur, Mexico. *Biological Conservation*, 128(3), 327-334.
- Krige, D. G. (1951). *A Statistical Approach to Some Mine Valuation and Allied Problems on the Witwatersrand: By DG Krige* (Doctoral dissertation, University of the Witwatersrand).
- LeSage, J. P. (1999). *Spatial econometrics*. Regional Research Institute, West Virginia University.
- Márquez, R., Díaz, J., Sanchez, M., Burchfield, P., Leo, A., Carrasco, M., ... & Bravo, R. (1999). Results of the Kemp's ridley nesting beach conservation efforts in Mexico. *Marine Turtle Newsletter*, 85, 2-4.
- Matheron, G. (1962). *Traité de géostatistique appliquée. 1 (1962)* (Vol. 1). Editions Technip.
- Matheron, G. (1963). Principles of geostatistics. *Economic geology*, 58(8), 1246-1266.
- Morales, O. G., Ramírez, J. A., Vivanco, D. I., & Vázquez, M. (2001). Surimi of fish species from the Gulf of Mexico: evaluation of the setting phenomenon. *Food Chemistry*, 75(1), 43-48.
- Olabarria, C. (1999). Estructura y variación estacional de poblaciones de moluscos asociadas a la pesca artesanal de langosta en el Pacífico tropical. *Revista de Biología Tropical*, 47(4), 851-865.
- Ortega del Valle, D., Acevedo-García, J., Audelo-Ramos, D., J. Rodríguez-Valencia, J. (2008) Interactions of leatherback sea turtles and artisanal fleets from Michoacán, Guerrero and Oaxaca (Mexico). Final Technical Report. World Wildlife Fund. 65 pp.
- Parente, M. A., & Hendrickx, M. E. (2001). BIOLOGY AND FISHERY OF THE ARCHED BOX CRAB CALAPPA CONVEXA DE SAUSSURE (CRUSTACEA, BRACHYURA, CALAPPIDAE) IN THE SOUTHEASTERN GULF OF CALIFORNIA, MEXICO *Ciencias Marinas*, diciembre, año/vol. 27, número 004 Universidad Autónoma de Baja California. *Ciencias Marinas*, 27(4), 521-541.
- Pérez-González, R., Valadez, L. M., Lim, M. A., & Muñoz, I. (2002). Common macrocrustaceans in fishing areas of the lobsters *Panulirus* spp. White 1847, in the southeastern part of the Gulf of California, Mexico. *Contributions to the study of east Pacific crustaceans*, 1, 317-325.
- Poder Ejecutivo Federal (1986) Decreto por el que se establece una zona de reserva y refugio para protección, conservación, repoblación, desarrollo y control de tortuga marina, a la playa de Tierra colorada, Guerrero y sus alrededores. Diario Oficial de la Federación. 29 de Octubre de 1986

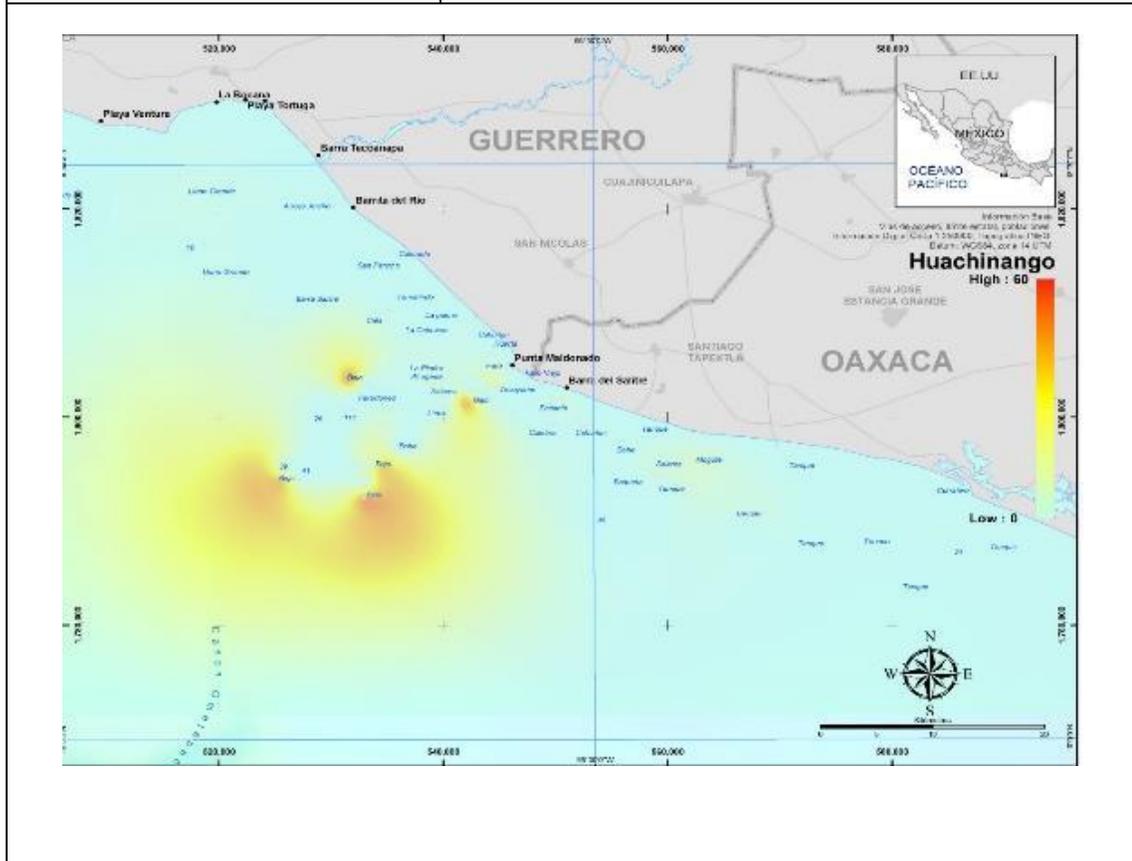
- Poder Ejecutivo Federal (2005) Aviso mediante el cual se informa al público en general que están a su disposición los estudios realizados para justificar la expedición del Decreto por el que se pretende declarar como área natural protegida con el carácter de santuario, la zona conocida como Playa Cahuitán, con una superficie de 65 hectáreas, localizada en el Municipio de Santiago Tapextla, en el Estado de Oaxaca. *Diario Oficial de la Federación*. 13 de Julio de 2005.
- Quiterio Mendoza, M., Pérez Elizalde, S., González Cossío, F., Hidalgo Contreras, J. V., & Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo; Postgrado de Socioeconomía, Estadística e Informática Estadística. (2009). Un modelo estadístico espacial para la prevalencia de la pobreza en México.
- Robertson, G. P. (1987). Geostatistics in ecology: interpolating with known variance. *Ecology*, 744-748.
- Rodríguez-Valencia, J. A., & Cisneros-Mata, M. A. (2006). Captura incidental de las flotas pesqueras ribereñas del Pacífico Mexicano. *Reporte técnico del Programa Golfo de California de WWF-México a la Comisión de Cooperación Ambiental de América del Norte, México DF, Mexico*.
- Sarti, L., Eckert, S., Barragán, A., & y García, N. (1998). Estimación del tamaño de la población anidadora de tortuga laúd *Dermochelys coriacea* y su distribución en el Pacífico mexicano durante la temporada de anidación 1997–1998. *Informe Final de Investigación Instituto Nacional de la Pesca-SEMARNAP*.
- Samper, F. J., & Carrera, J. (1990). Geoestadística: aplicaciones a la hidrología subterránea. *CIMNE. Barcelona. Spain*.
- SEATURTLE.ORG Maptool. (2002). SEATURTLE.ORG, Inc. <http://www.seaturtle.org/maptool/> (acquisition date).
- Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2010). Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres: Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo. *Diario Oficial de la federación*.
- Sichel, H. S. (1947). An experimental and theoretical investigation of bias error in mine sampling with special reference to narrow gold reefs. *Trans. Inst. Min. Metall*, 56(403-473), 3-1.
- Sichel, H. S. (1949). The method of frequency-moments and its application to type VII populations. *Biometrika*, 404-425.
- Solana-Sansores, R., Nava-Abarca, M., & González, J. O. (2002). Obtención de estadísticas de captura y esfuerzo de la pesca mexicana del atún en el Golfo de México. *Collect. Vol. Sci. Pap. ICCAT*, 54(5), 1713-1719.

- Tobler, W. R. (1970). A computer movie simulating urban growth in the Detroit region. *Economic geography*, 234-240.
- UICN. (2012). Categorías y Criterios de la Lista Roja de la UICN: Versión 3.1. Segunda edición. Gland, Suiza y Cambridge, Reino Unido: UICN. vi + 34pp. Originalmente publicado como IUCN Red List Categories and Criteria: Version 3.1. Second edition. (Gland, Switzerland and Cambridge, UK: IUCN, 2012).
- Viera, M. A. D., & González, R. C. (2002). Geoestadística aplicada. *Notas de curso. Instituto de Geofísica, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Instituto de Geofísica y Astronomía, CITMA. Cuba.*
- Vilalta, C. J. (2005). Cómo enseñar autocorrelación espacial. *Economía, Sociedad y Territorio*, (18), 323-333.
- Wallace, B. P., Lewison, R. L., McDonald, S. L., McDonald, R. K., Kot, C. Y., Kelez, S., ... & Crowder, L. B. (2010). Global patterns of marine turtle bycatch. *Conservation letters*, 3(3), 131-142.
- Wallace, B. P., DiMatteo, A. D., Bolten, A. B., Chaloupka, M. Y., Hutchinson, B. J., Abreu-Grobois, F. A., ... & Mast, R. B. (2011). Global conservation priorities for marine turtles. *PLoS One*, 6(9), e24510.
- Wetzels, R., Matzke, D., Lee, M. D., Rouder, J. N., Iverson, G. J., & Wagenmakers, E. J. (2011). Statistical evidence in experimental psychology an empirical comparison using 855 t tests. *Perspectives on Psychological Science*, 6(3), 291-298.

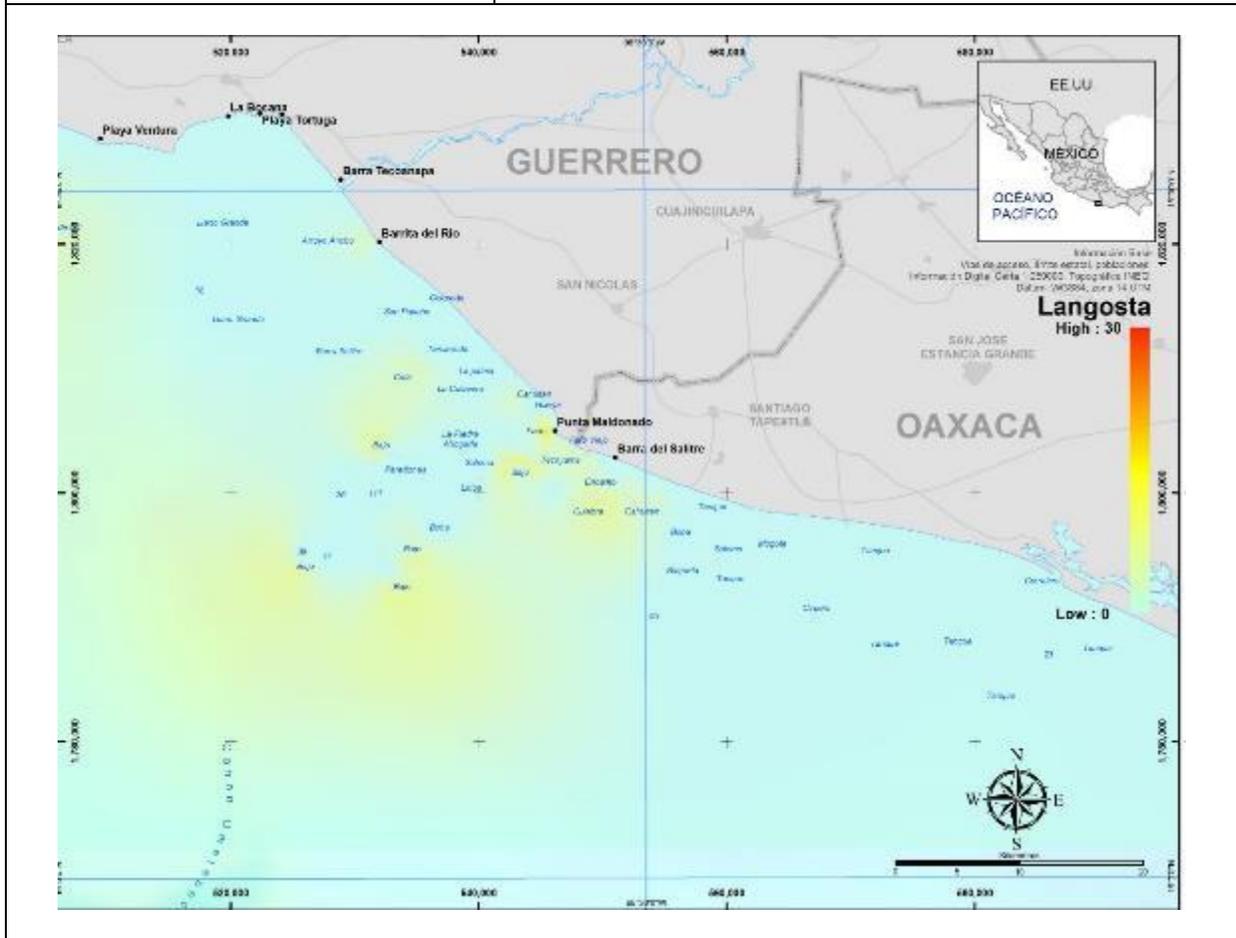
11. Anexos

Anexo I. Características y ubicación de las seis principales pesquerías de la zona de estudio. Tomadas de Bourillón *et al.*, 2012.

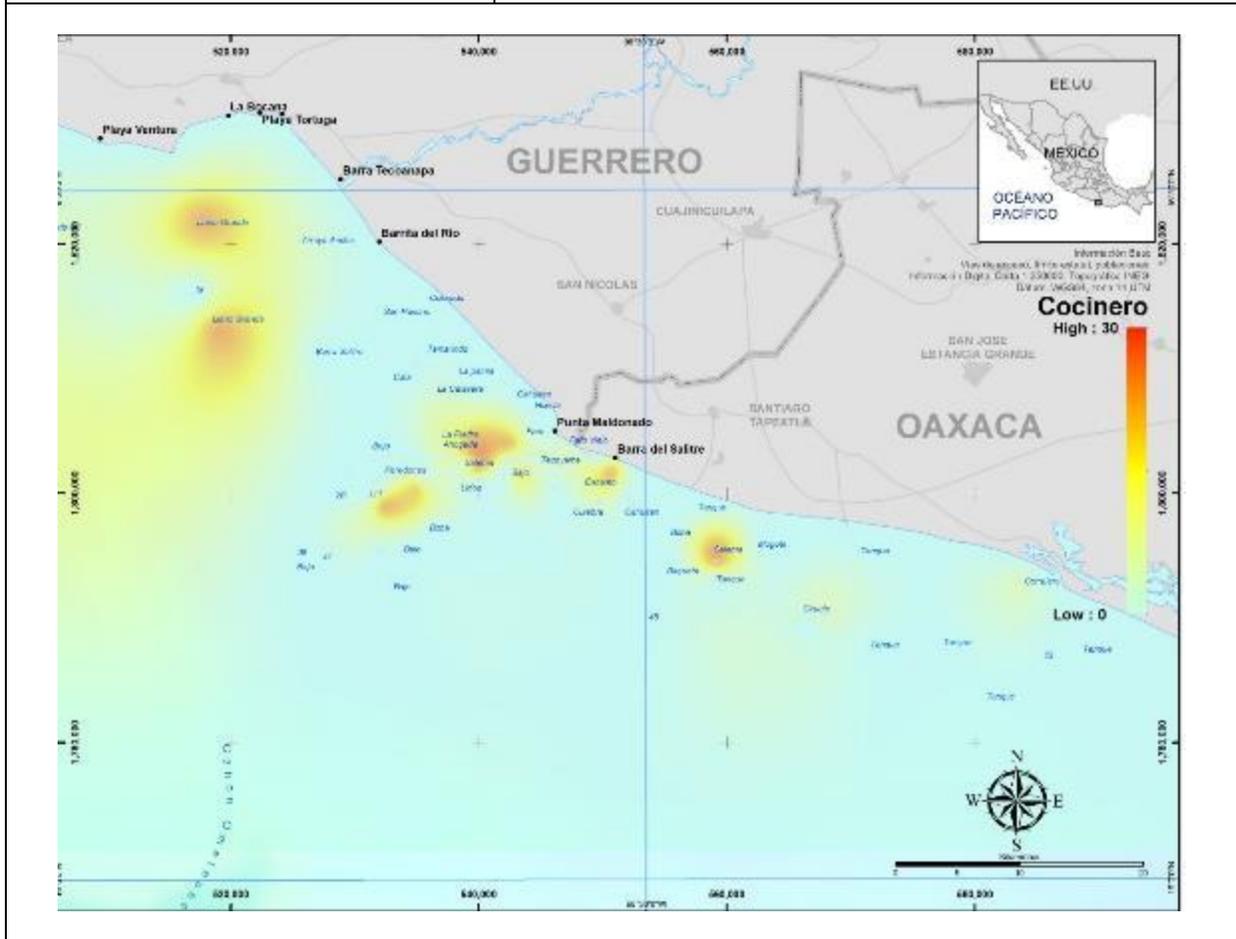
HUACHINANGO (<i>Lutjanus peru</i>)	
Temporada de pesca:	Durante todo el año, con incremento en las capturas y del esfuerzo pesquero de enero a junio.
Arte y método de pesca:	Piola y anzuelo (74.8%), trasmallo de 3 ¼, 4, 5 y 6 de fondo (24.5%) y cimbra (0.7%)
Número de pescadores por embarcación:	3 (63.4%), 4 (30.3%), 2 (35.0%) y 1 y 5 (0.4%)
Principales zonas de pesca:	Bajo (51.9%), Tanque (16.8%), Mogote (9.1%), Faro (4.7%), Salema (4.6%), Llano grande (2.6%), Ciruelo (2.6%), Pie de Bajo (1.4%) y La 24 (1.2%).
Profundidad promedio de pesca (mts):	50.4
Captura promedio (kg):	33.500
Gastos por viaje de pesca	24.25
Precio en playa (precio/kg)	40-45
Tiempo invertido por viaje de pesca (hrs):	16 hrs (piola y anzuelo) y horas (trasmallo)



LANGOSTA	
Temporada de pesca:	De agosto a marzo
Arte y método de pesca:	Trasmallo 5" de fondo (58.3%), trasmallo 3 ¼" de fondo (37.5%) y Buceo (4.2%).
Número de pescadores por embarcación:	3 (60.0%), 2 (28.0%) y 4 (12.0%)
Principales zonas de pesca:	Faro (22.2%), Bajo (11.1%), Culebra (11.1%), Piedra ahogada (11.1%), Barco hundido (11.1%), Encanto (5.6%), Cahuitán (5.6%), Pico de gil (5.6%), Cala (5.6%), Tecoyame (5.6%) y el Arroyo ancho (5.6%)
Profundidad promedio de pesca (m):	12
Captura promedio (kg):	12
Gastos por viaje de pesca (gasolina/litros):	13.56
Precio en playa (precio/kg)	80
Tiempo invertido por viaje de pesca (hrs):	3 hrs 40 min



COCINERO	
Temporada de pesca:	Durante todo el año
Arte y método de pesca:	Trasmallo 3 ¼" de deriva (75.0%), y piola y anzuelo (25.0%).
Número de pescadores por embarcación:	2 (56.3%), 3 (12.5%) y 4 (31.3%)
Principales zonas de pesca:	Salama (23.5%), Llano grande (23.5%), Ciruelo (5.9%), Pico de Gil (5.9%), Culebra (5.9%), Piedra ahogada (5.9%), Tártaro (5.9%), Corralero (5.9%), Barco hundido (5.9%), Tecoyame (5.9%) y Faro viejo (5.9%).
Profundidad promedio de pesca (m):	12
Captura promedio (kg):	93.35
Gastos por viaje de pesca (gasolina/litros):	29.82
Precio en playa (precio/kg)	20
Tiempo invertido por viaje de pesca (hrs):	15.4



BLANCO	
Temporada de pesca:	Durante todo el año
Arte y método de pesca:	Trasmallo 3 1/4 "de fondo (50.0%), piola y anzuelo (37.5%) y trasmallo 3 1/4 de deriva (12.5%).
Número de pescadores por embarcación:	3 (69.6%), 2 (17.4%) y 4 (13.0%)
Principales zonas de pesca:	Tanque (41.7%), Salema (20.8%), Llano grande (16.7%), Encanto (8.3%), Faro (4.2%), Culebra (4.2%) y Lirios (4.2%)
Profundidad promedio de pesca (m):	12 y 36
Captura promedio (kg):	26.17
Gastos por viaje de pesca (gasolina/litros):	46.37
Precio en playa (precio/kg)	30
Tiempo invertido por viaje de pesca (hrs):	15

