



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL



FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

**DESARROLLO DE UNA METODOLOGÍA PARA LOCALIZAR LA
ZONA DE CONVERGENCIA INTERTROPICAL (ITCZ) MEDIANTE
EL POST-PROCESAMIENTO DE DATOS DE VIENTO
OBTENIDOS DEL ARCHIVO DE DATOS ERA INTERIM.**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO MECANICO**

BRAVO VILLEGAS JORGE DAVID
jorge.bravo@epn.edu.ec

DIRECTOR: ING. PORTILLA YANDÚN SEGUNDO JESÚS, Ph.D.
jesus.portilla@epn.edu.ec

CODIRECTOR: ING. VILLACIS DAVID, M.Sc.
david.villacis01@epn.edu.ec

Quito, diciembre 2021

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue desarrollado por **JORGE DAVID BRAVO VILLEGAS**, bajo nuestra supervisión.

Ing. Jesús S. Portilla Yandún PhD.

DIRECTOR DE PROYECTO

PROYECTO

Ing. David Villacis M. Sc.

CODIRECTOR DE

DECLARACIÓN

Yo, **Jorge David Bravo Villegas** , declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondiente a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

Jorge David Bravo Villegas

DEDICATORIA

A mis queridos padres: Marce y Anita, por brindarme oportunidades en la vida y su apoyo incondicional en todo momento.

A mi hermana Alex por siempre ser una guía y abrigarme con su cariño.

A mi abuelito Elías, por enseñarme el valor de la educación y el trabajo.

A mis abuelitas Natalita y Teresita por su amor y confianza.

AGRADECIMIENTO

A los profesores de la Escuela Politécnica Nacional, en especial a aquellos con los que tuve la oportunidad de compartir y que ven en la educación una oportunidad para moldear un mundo mejor.

A Jesús y David por apoyarme y orientarme en el desarrollo de este proyecto.

A los amigos que me ha regalado el tiempo en la universidad.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
Pregunta de Investigación	2
Objetivo general	2
Objetivos específicos	3
Alcance	3
1. MARCO TEÓRICO	4
1.1 Modelo de circulación atmosférica global.....	4
1.2 Modelo de reanálisis atmosférico ERA Interim del ECMWF.	6
1.3 Datos de viento.....	8
1.4 Localización de la ITCZ.....	9
2. METODOLOGÍA	12
2.1 Algoritmo de convergencia del viento.....	12
2.2 Organización de datos de convergencia.....	13
2.2.1 Limpieza de puntos fuera de rango de latitud de la ITCZ.....	14
2.2.2 Agrupamiento.....	15
2.3 Algoritmo de conexión inicial.....	16
2.4 Análisis adicional y algoritmo de conexión final.....	17
2.4.1 Caracterización de las líneas de convergencia.....	18
2.4.2 Identificación de línea base y depuración.....	18
2.4.3 Conexión final.....	20
3. RESULTADOS	23
3.1 Presentación de resultados.....	23
3.2 Análisis de resultados.....	27
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	30
4.1 Conclusiones.....	30
4.2 Recomendaciones.....	31
Referencias Bibliográficas	32
ANEXO I. DISTRIBUCIÓN ESTADÍSTICA DE LA UBICACIÓN DE LA ITCZ EN EL PACÍFICO ESTE	36

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Promedio anual de absorción de radiación.	4
Figura 2. Esquema de modelo de circulación atmosférica global.	5
Figura 3. Esquema simplificado de la formación de la ITCZ.	6
Figura 4. Esquema de la estructura del Reanálisis del ECMWF.	7
Figura 5. Esquema de componentes de velocidad del viento en sistema meteorológico.	8
Figura 6. Representación del campo vectorial de velocidades de viento global para un intervalo de tiempo.	9
Figura 7. Resultados de variación de ITCZ empleando imágenes satelitales y un algoritmo de procesamiento.	9
Figura 8. Comparación entre niveles de precipitación mensuales, con niveles de transporte energético en la atmósfera y el ingreso energético neto atmosférico.	10
Figura 9. Distribución probabilística de la ITCZ durante 1983-2005, señalando otras zonas de convergencia.	11
Figura 10. Descripción de variaciones en las características de la ITCZ entre 1985-2004.	11
Figura 11. Esquema de la metodología aplicada al proyecto.	12
Figura 12. Convergencia de viento con referencia de tendencia de la intensidad de convergencia.	13
Figura 13. Visualización de puntos de convergencia iniciales.	14
Figura 14. Ejemplo de funcionamiento del agrupamiento K-Means.	15
Figura 15. Efecto del agrupamiento mediante K-Means.	16
Figura 16. Resultado del algoritmo de conexión inicial.	17
Figura 17. Resultados de la caracterización de líneas de forma global.	18
Figura 18. Identificación de primera línea base de la ITCZ en región del pacífico este.	19
Figura 19. Línea de base extendida, luego de realizar la iteración de conexión y limpieza.	19
Figura 20. Identificación de puntos dentro del polígono continental para depuración.	20
Figura 21. Línea de convergencia obtenida luego de la conexión final.	21
Figura 22. Resultados de la ITCZ agrupados para un mes.	22
Figura 23. Diagrama de cajas para ubicación de la ITCZ en el mes de enero.	23
Figura 24. Valores de latitud mediana acumulados para cada mes por 41 años, para diferentes rangos de longitudes.	24
Figura 25. Diagramas de caja acumulados, de la ubicación de la ITCZ para cada mes y líneas medianas de años con presencia de ENSO.	26
Figura 26. Estadísticas acumuladas promedio, de cada mes por 41 años, de:	27

RESUMEN

La localización de la Zona de Convergencia Intertropical (ITCZ) puede derivarse de variables atmosféricas como la precipitación o nubosidad, sin embargo, la naturaleza física de esta zona está directamente relacionada con la convergencia de corrientes de viento provenientes de las celdas de circulación Hadley. En este trabajo se describe el desarrollo de una nueva metodología para localizar la ITCZ, empleando principalmente el campo vectorial de velocidades de viento obtenido del reanálisis atmosférico ERA Interim. Esta metodología constituye un nuevo instrumento en una serie de herramientas para el estudio de variables climatológicas de gran interés para la planificación y desarrollo de operaciones marinas en la costa ecuatoriana; por lo cual el alcance del presente trabajo estará delimitado para la región este del océano pacífico (Longitudes: 180° - 285°). La metodología desarrollada se fundamenta en la ciencia de datos, y se divide en seis pasos: exploración, limpieza, agrupación, filtrado, algoritmo de conexión, y procesamiento de datos estadístico, los cuales se desarrollan y ejecutan en lenguaje MATLAB®. Las estadísticas obtenidas se presentan como distribuciones y valores promediados para cuarenta y un años de datos disponibles, de esta manera se consiguen identificar, por ejemplo: los meses con rangos más cortos de predicción, la tendencia de desplazamiento de la ITCZ y patrones de comportamiento atípicos en años en los que se encuentra activo el fenómeno de El Niño.

Palabras clave: Viento, zona de Convergencia, ITCZ, ERA Interim, pacífico este ciencia de datos, algoritmo, estadística, ENSO.

ABSTRACT

The intertropical convergence zone (ITCZ) location can be derived from atmospheric variables like precipitation and cloudiness, nonetheless the physical nature of this zone is directly related with the convergence of wind current coming from Hadley circulation cells. In this document a new methodology to locate the ITCZ, using mainly the wind velocity vector field, obtained from ERA Interim atmospheric reanalysis, is described. This methodology can be integrated as a new instrument of a series of tools for the study of climatological variables that can be used for marine operations planning and execution in the Ecuadorian coast; whereby the extent of this study will be delimited for the region of the east Pacific Ocean, (Longitudes: 180^o-285^o). The developed methodology is based on data science, and it consists of six steps: exploration, cleaning, clustering, filtering, connection algorithm and statistical data processing, all of which are developed and executed in MATLAB language. The obtained statistics are presented as distributions and averaged values for forty-one years of data available, then it is possible to identify, for example: months with a shorter range of prediction, trends in the displacement of the ITCZ and patterns of atypical behavior in years that El Niño Southern Oscillation (ENSO) is active in the region.

Keywords: Wind, convergence zone, ITCZ, ERA Interim, east pacific, data science, algorithm, statistics, ENSO.

GLOSARIO DE TÉRMINOS

Acrónimos y abreviaciones

ECMWF	<i>European Centre for Medium Range Weather.</i>
ERA	<i>ECMWF Re-Analysis.</i>
ITCZ	<i>Intertropical Convergence Zone.</i>
SPCZ	<i>South Pacific Convergence Zone.</i>
NWP	<i>Numerical Weather Prediction.</i>
ENSO	<i>El Niño Southern Oscillation.</i>
MAT	<i>Extensión de archivo de MATLAB.</i>
GACM	<i>Global Atmospheric Circulation Model.</i>
GOS	<i>Global Observing System.</i>
TRMM	<i>Tropical Rainfall Measuring Mission.</i>
EFE	<i>Energy Flux Equator.</i>
AET	<i>Atmospheric Energy Transport</i>
NEI	<i>Net Energy Input</i>
\vec{u}	<i>Velocidad zonal del viento</i>
\vec{v}	<i>Velocidad meridional del viento.</i>

DESARROLLO DE UNA METODOLOGÍA PARA LOCALIZAR LA ZONA DE CONVERGENCIA INTERTROPICAL (ITCZ) MEDIANTE EL POST-PROCESAMIENTO DE DATOS DE VIENTO OBTENIDOS DEL ARCHIVO DE DATOS ERA INTERIM.

INTRODUCCIÓN

Muchas características del clima tropical son manifestaciones de la convergencia dinámica y termodinámica de los hemisferios norte y sur. Esto incluye el afloramiento ecuatorial (proceso por el cual agua fría profunda y rica en nutrientes, asciende a la superficie), convección troposférica profunda (fenómeno térmico que permite el movimiento y mezcla de paquetes de aire a diferentes alturas de la atmósfera), una estructura compleja de corrientes oceánicas y uno de los esquemas de viento más estables del planeta, como lo son los vientos alisios [1]. De todos los fenómenos que caracterizan a la región tropical, la característica que representa de forma más clara la intersección de los dos hemisferios es la Zona de Convergencia Intertropical, ITCZ por sus siglas en inglés, cuyo análisis es fundamental para entender la interacción entre la temperatura superficial del océano, vientos superficiales, convergencia de vientos, y presión a nivel del mar. La característica principal de la ITCZ es el alto contenido de vapor de agua en el aire, el cual al llegar a una mayor altura se enfría y provoca intensas lluvias, liberando humedad acumulada [2].

Encontrar la localización de la ITCZ y sus propiedades migratorias usando datos de viento ha representado un desafío en el pasado por varias razones. Primero, las observaciones directas de la capa límite de vientos tropicales han sido escasas. Adicionalmente las predicciones de rango corto, que usualmente proveen de datos para el análisis en predicción numérica del clima (NWP) han sido tradicionalmente menos exitosas en los trópicos que en las altitudes medias debido a la complejidad de la circulación tropical. Finalmente las restricciones de balance aplicadas en la asimilación de datos presentaban poca información de viento del campo total de datos en los trópicos [3]. Para el estudio de la dinámica y climatología de flujo superficial en las áreas ecuatoriales se han empleado datos de embarcaciones, sensores superficiales y sensores de altura; posteriormente se desarrollaron los reanálisis de datos y en años recientes se han tenido observaciones continuas de vectores de viento en la superficie oceánica gracias a dispersómetros basados en espacio, particularmente el escaterometro [4]. Los análisis y pronósticos en los trópicos han mejorado significativamente en los últimos años, esto gracias a que se han

desarrollado nuevas metodologías, más completas, que cuentan con la implementación de modelos variacionales para asimilación de datos, como los filtros de ensamble de Kalman, el 3D-Var y 4D-Var , los mismos que permiten mejorar las condiciones iniciales de pronóstico y su ajuste respecto al tiempo [5][6][7]. El problema es que no se cuenta con información específica respecto a la ubicación de la ITCZ, por lo que se requiere una metodología robusta que haga uso de los datos meteorológicos y físicos disponibles para la localización y caracterización migratoria de la misma, reduciendo errores de precisión y facilitando su visualización.

El uso acertado de la predicción meteorológica y datos climáticos permite una mejor planificación para varios sectores que aprovechan el océano para actividades económicas y permite establecer medidas preventivas contra fenómenos naturales como El Niño-Oscilación del Sur (ENSO) [8].

En este trabajo se propone una metodología que permite determinar la ubicación de la ITCZ mediante el análisis de los datos de viento proporcionado por el Centro Europeo de Predicción del Clima de Rango Medio, ECMWF por sus siglas en inglés. Su archivo de reanálisis ERA Interim, ha sido depurado de errores de modelos anteriores y presenta una mejor asimilación de datos mediante el uso de nuevos parámetros para facilitar su procesamiento [9]. Aportando con la metodología para ubicar la ITCZ se consigue un punto de partida esencial para la evaluación de parámetros oceánicos, para la planificación de operaciones marinas en las costas del Ecuador, como también un modelo para contrastar estudios previos de la posible localización de la ITCZ y su variabilidad respecto al tiempo.

Pregunta de Investigación

¿Es posible localizar la Zona de Convergencia Intertropical mediante el post-procesamiento de datos de viento del modelo ERA Interim y obtener resultados confiables y sin la presencia de sesgos regionales?

Objetivo general

Desarrollar una metodología para localizar la Zona de Convergencia Intertropical mediante el post-procesamiento de datos de viento obtenidos del archivo de reanálisis atmosférico del ECMWF, ERA Interim.

Objetivos específicos

- Elaborar un algoritmo para realizar el post-procesamiento, filtrado y la visualización de datos de viento.
- Determinar las variables físicas y geográficas que permitan localizar la Zona de Convergencia Intertropical.
- Analizar la localización de la Zona de Convergencia Intertropical y su variabilidad respecto al tiempo.
- Procesar masivamente datos de viento de registro histórico para obtener parámetros estadísticos de la ubicación de la ITCZ.
- Verificar los resultados por medio del uso de otras variables meteorológicas: nubosidad, precipitación, presión atmosférica.

Alcance

El presente estudio consiste en desarrollar una nueva metodología para la localización de la ITCZ, empleando el campo vectorial de velocidad de viento del modelo ERA Interim del ECMWF. Se utiliza una serie de algoritmos de post-procesamiento de datos de viento, donde se consideran las características físicas y geográficas que definen ITCZ. Debido al elevado requerimiento computacional que esto implica se reduce la zona de estudio al pacifico ecuatorial que limita con América del Sur (longitudes 180° y 285°).

La metodología propuesta consiste en:

- Seleccionar el criterio de convergencia para transformar el campo vectorial de velocidades de viento a un esquema de zonas de convergencia global.
- Ordenar, agrupar y filtrar los puntos de convergencia resultantes para obtener un esquema simplificado de las zonas de convergencia global.
- Depurar los puntos y elaborar algoritmos de conexión, con un criterio de unión robusto para unirlos en líneas de convergencia iniciales.
- Realizar un análisis de la tendencia en las líneas para proponer límites geográficos y características definitivas de las mismas.
- Limpiar las líneas descartadas y realizar un algoritmo de conexión final que permita visualizar las líneas de convergencia que representen a la ITCZ.

Finalmente, se elabora un análisis estadístico de los resultados para identificar tendencias, patrones y comportamientos de la ITCZ en el lapso de 41 años de datos recopilados en la base de ERA Interim.

1. MARCO TEÓRICO

La circulación a gran escala de viento ocurre sobre toda la superficie de la tierra debido a las diferencias de presión, resultantes de los gradientes de temperatura a diferentes latitudes y altitudes generados por la radiación solar desigual (no uniforme). Gracias a esta circulación de viento se crean corrientes en diferentes direcciones y con distintas velocidades, las cuales pueden converger en diversos sectores generando zonas de acumulación de nubosidad y posibles lluvias [10]. Una de las zonas de convergencia más influyentes en los patrones climatológicos de la región ecuatorial es la ITCZ.

1.1 Modelo de circulación atmosférica global.

La diferencia en presión atmosférica, generada por la variación de temperatura al receptor radiación solar en las diferentes latitudes del planeta, da lugar al movimiento de corrientes de aire [11]. Las corrientes de aire se conocen como viento y siempre se desplazan desde una zona de presión alta a una zona de presión baja, mientras mayor sea la diferencia de presiones, más fuerte será la velocidad de viento.

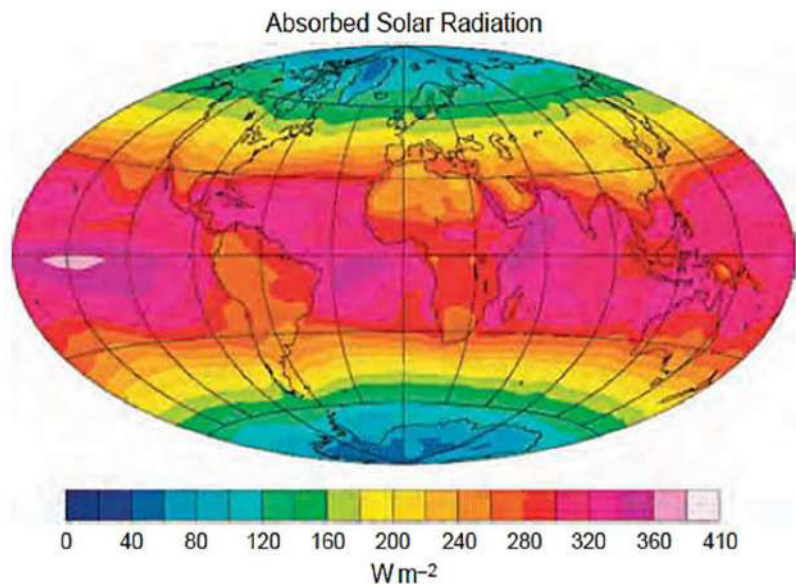


Figura 1. Promedio anual de absorción de radiación.

Fuente: [11]

Como se muestra en la figura 1, diferentes regiones de la superficie terrestre reciben diferentes cantidades de radiación, esto debido a la diferencia en la incidencia pero también al movimiento rotacional y estacional del planeta, variadas reflectividades de las superficies propias de las regiones y diversos factores de contaminación. De esta manera la temperatura en distintas latitudes también varía. La región polar se caracteriza por ser una

zona de baja temperatura y alta presión, mientras que la región ecuatorial se muestra como zona de alta temperatura y baja presión [12].

La diferencia en presión atmosférica en la superficie de la tierra produce una serie de patrones globales de circulación, los cuales componen el modelo de circulación atmosférica global (GACM), en el cual se conocen los ciclos de circulación como celdas de convección atmosférica. Existen tres celdas de convección atmosférica en cada hemisferio: Hadley, Ferrel y Polar [12]. En la figura 2 se puede observar un esquema simplificado de la disposición de estas celdas en el planeta.

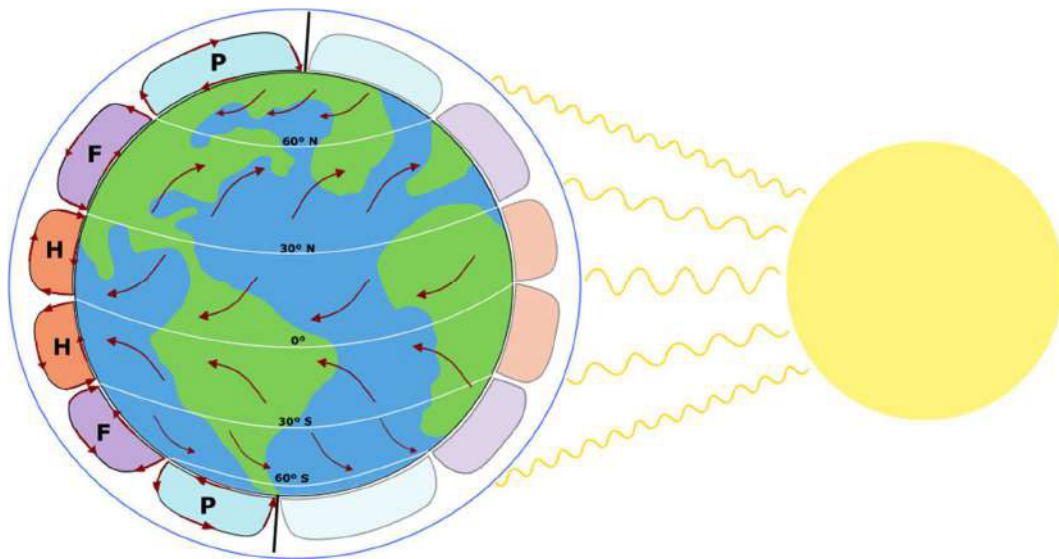


Figura 2. Esquema de modelo de circulación atmosférica global.

Fuente: [Propia]

El aire cálido de la zona ecuatorial se eleva, creando un cinturón de baja presión, y mientras el aire se eleva va perdiendo calor, lo que resulta en condensación que da origen a las nubes y lluvia que se distribuye al norte y sur de la línea ecuatorial. En las latitudes 30°N y 30°S, el aire frío y seco desciende, creando una región de alta presión que se caracteriza por ser despejada, y cuando alcanza la superficie de la tierra, se mueve hacia el trópico o hacia los polos. Mientras tanto en las latitudes 60°N y 60°S, el aire superficial se encuentra con el aire frío proveniente de los polos, lo que provoca que este aire se eleve, creando nuevamente un cinturón de baja presión. Debido a esto el aire se eleva y enfría, y una vez que alcanza su máxima altitud también se direcciona hacia el trópico o hacia los polos. Finalmente en los polos el aire frío desciende a la superficie de la tierra, lo que provoca la creación de una región de alta presión, por lo que una vez que alcanza la superficie se dirige hacia latitudes más bajas [12].

En la figura 2, se observa las direcciones de flujo para cada celda de convección atmosférica, así como una representación simbólica de la dirección del viento en los distintos rangos de latitud. Este estudio se enfoca en la región de la celda de convección atmosférica Hadley, debido a que en esta, largas cadenas de viento que transportan calor y humedad dan lugar a la ITCZ, compuesta por nubes de convección profunda ubicadas en una gran cadena longitudinal [13]. Tal como se muestra en la figura 3.

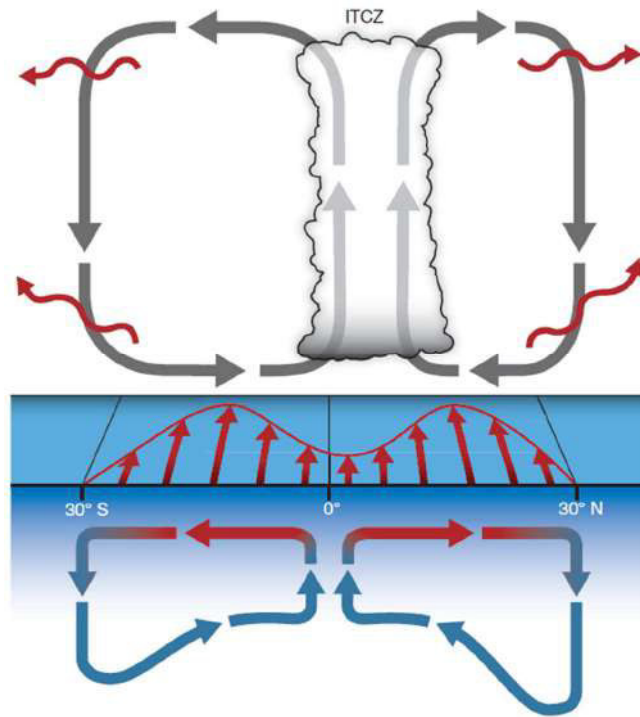


Figura 3. Esquema simplificado de la formación de la ITCZ.
Fuente: [13]

1.2 Modelo de reanálisis atmosférico ERA Interim del ECMWF.

Para obtener información más completa de las condiciones atmosféricas, oceanográficas y climáticas se emplea un modelo de reanálisis atmosférico, el cual consiste en una combinación de observaciones y medidas, con modelos de predicción meteorológica. De esta manera se obtiene como resultado un conjunto global de datos con mayor consistencia y menos vacíos en el tiempo. La mayor ventaja de este método es que emplea todas las variables posibles para construir un mapa global de datos, y con ello se consigue incrementar, tanto la resolución como la calidad de las predicciones [14].

Para realizar un reanálisis se requiere: establecer condiciones iniciales de los parámetros a evaluar y formular un modelo físico que tome en consideración el comportamiento de las

variables atmosféricas en el tiempo. Las condiciones iniciales se obtienen de observaciones y mediciones de distintos instrumentos distribuidos en el Sistema Global de Observaciones (GOS), y se combinan con predicciones meteorológicas de corto rango. Esto permite ajustar los modelos predictivos luego de verificar sus resultados con el clima real [14]. En este proceso se emplean métodos de asimilación de datos variacionales que permiten obtener una estructura de datos dinámica, que elimina errores de predicción y retroalimenta constantemente la base de datos inicial para mejorar la calidad de los resultados [15][16]. En la figura 4 se observa un esquema de la producción de un reanálisis, y la temperatura superficial en una línea de tiempo como ejemplo de los resultados. Constantemente se añaden variables al modelo físico y se realizan comparaciones para asegurar la veracidad de los resultados, adicionalmente los diferentes reanálisis se renuevan en cuanto existe una mejora significativa en la calidad de los datos.

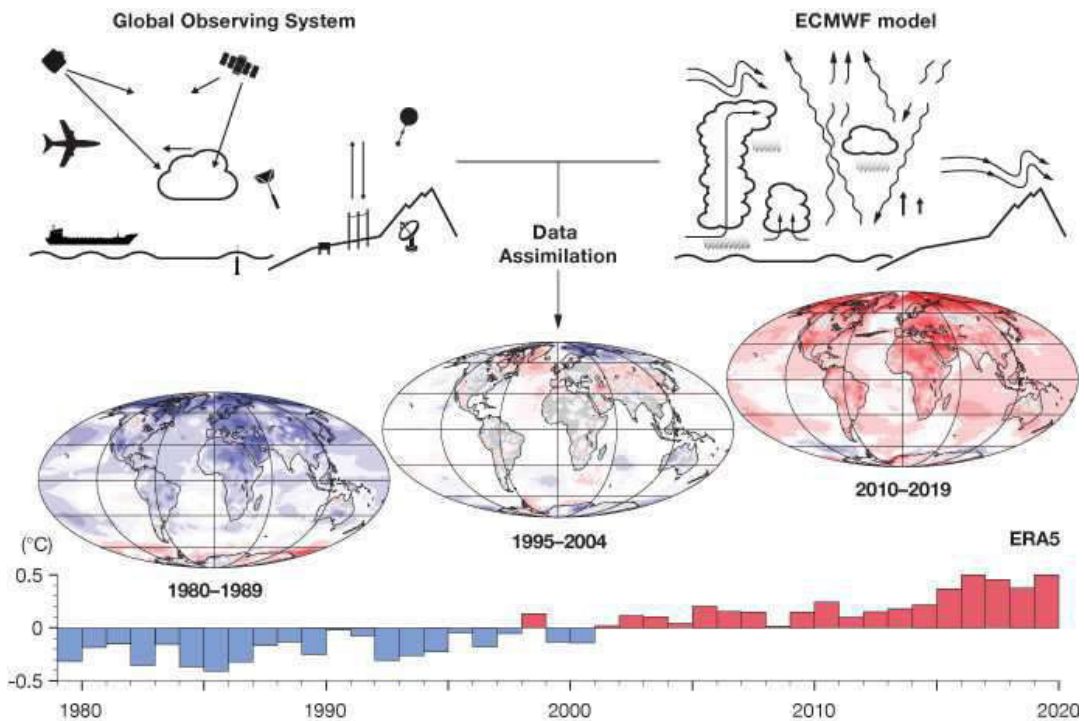


Figura 4. Esquema de la estructura del Reanálisis del ECMWF.
Fuente:[16]

Actualmente se usan los datos obtenidos mediante reanálisis del ECMWF en diversos proyectos para monitorear el cambio climático, planteamiento de decisiones estratégicas en industria y gobiernos, y propuestas de desarrollo de energía renovables [16]. En este proyecto se hace uso del modelo ERA Interim, pero a futuro se podría adaptar la metodología a un modelo con mayor resolución como ERA 5, que es la actualización más reciente.

1.3 Datos de viento.

La correlación entre la convergencia de viento y la ubicación de la ITCZ se ha manifestado continuamente en estudios respecto a clima [17]. La principal característica del viento que permite determinar convergencia a nivel superficial o dentro de la capa límite de la tropósfera es la velocidad [18]. Entre los datos disponibles en la base de ERA Interim se encuentra la velocidad de viento a 10m de altura, la cual se divide dos componentes: \vec{u} que corresponde a la velocidad zonal (oeste-este) y \vec{v} que corresponde a la velocidad meridional (sur-norte) [19]. Como se representa en la siguiente figura, la velocidad se encuentra descrita en un sistema de referencia común para uso meteorológico, donde el ángulo referencial de dirección indica la referencia de origen de la corriente de viento, dando lugar a expresiones como los vientos del este o del norte [20].

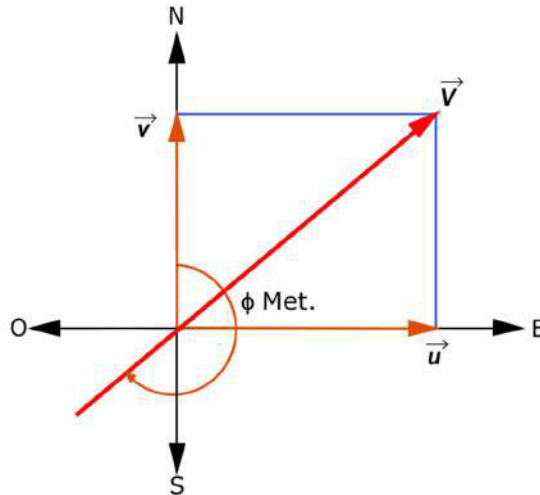


Figura 5. Esquema de componentes de velocidad del viento en sistema meteorológico.
Fuente: [Propia]

Adicionalmente una de las ventajas del esquema de datos de viento en la base de ERA Interim es que se encuentra distribuido en un malla gaussiano reducido. El malla gaussiano se distribuye con coordenadas ortogonales en la superficie de una esfera, de tal manera que los puntos entre latitudes tienen una distancia igual, mientras que en el eje meridional se distribuyen con una función gaussiana de cuadratura que refleja de forma más realista la distribución de un malla simétrico en la tierra [21]. La resolución variable de la malla es de 79km aproximadamente, y se tienen cuatro intervalos de medición por día [22]. Esto conforma una base de datos robusta para realizar el análisis estadístico.

En la figura 6 se puede observar la representación inicial de los datos de viento en un instante de tiempo, con una herramienta de visualización por colores según la velocidad absoluta. Este es el punto de partida del proyecto.

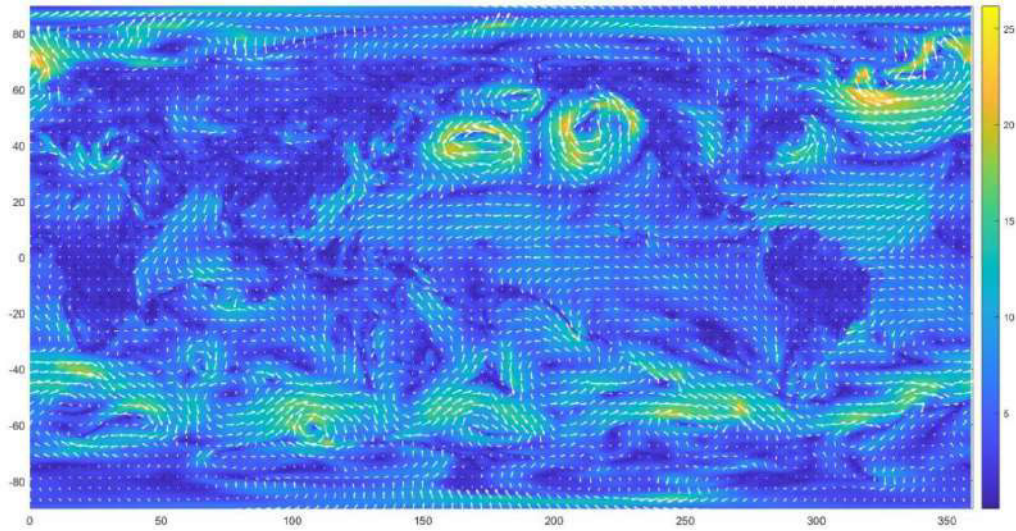


Figura 6. Representación del campo vectorial de velocidades de viento global para un intervalo de tiempo.

Fuente:[Propia]

1.4 Localización de la ITCZ.

La localización de la ITCZ ha sido objeto de estudio desde diferentes enfoques de la ciencia debido a la importancia de la distribución energética y térmica que aporta al sistema de circulación atmosférica global. Una de las primeras propuestas para encontrarla fue el desarrollo de un modelo computacional que permitiera usar imágenes satelitales para ubicar las zonas de alta nubosidad mediante su reflectividad [23] [24]. Como se observa en la siguiente figura, los resultados no contaban con una alta resolución ni presentaban uniformidad para todas las regiones de análisis.

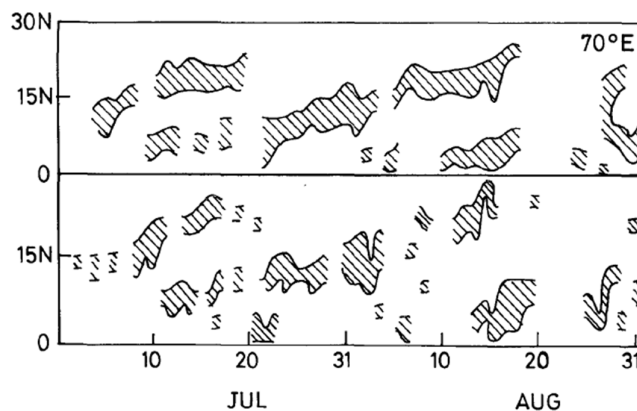


Figura 7. Resultados de variación de ITCZ empleando imágenes satelitales y un algoritmo de procesamiento.

Fuente:[23]

Posteriormente se propuso emplear diferentes metodologías, las cuales contemplaban un balance energético o térmico zonal, comparado con datos de precipitación o nubosidad.

De esta forma se tomaba en cuenta el flujo energético ecuatorial (EFE), como un nuevo parámetro de caracterización de la ITCZ, obteniendo resultados positivos al encontrar correlación entre la posición de la ITCZ y variables energéticas de la zona [25] [26] [27]. Para este propósito se realizaron comparaciones como la que se muestra en la figura 8, donde se presentan: la precipitación zonal media, en mm por día, el flujo ecuatorial del transporte de energía atmosférica (AET) promedio, en petavatios, y el ingreso neto de energía ecuatorial (NEI), en vatios por metro cuadrado. Observándose que existe proporcionalidad directa entre la energía neta que ingresa en la zona con la ocurrencia de precipitaciones, mientras que existe una proporcionalidad inversa con el flujo de energía transportado en la zona. [27]

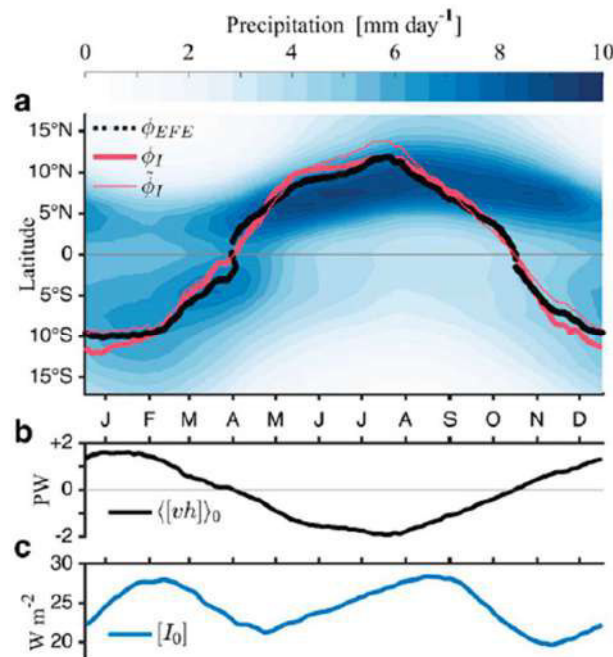


Figura 8. Comparación entre niveles de precipitación mensuales, con niveles de transporte energético en la atmósfera y el ingreso energético neto atmosférico.
Fuente:[27]

No obstante, los resultados que se obtienen para estimar la localización de la ITCZ mediante estos métodos han presentado dos errores de manera sistemática: la doble zona de convergencia intertropical y la presencia de bifurcaciones en regiones donde más de una zona de convergencia se manifiesta, tal como la bifurcación entre la ITCZ y la Zona de Convergencia del Pacífico Sur (SPCZ) [17] [28] [29]. Como se observa en la figura 9, es notable la dificultad para distinguir los límites de las zonas de convergencia en algunas regiones.

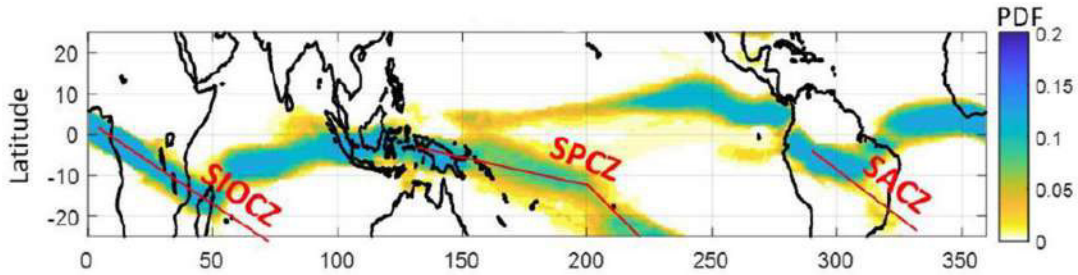


Figura 9. Distribución probabilística de la ITCZ durante 1983-2005, señalando otras zonas de convergencia.
Fuente: [29]

Proyectos más recientes proponen el uso de datos satelitales, como la misión de medición de precipitación tropical (TRMM), combinados con un procesamiento de imágenes y modelos físicos-estadísticos para estimar la ubicación mensual de la ITCZ [30]. Pero la dificultad de establecer un modelo único radica en la diferencia de los fenómenos presentes en las distintas regiones longitudinales del planeta, como la presencia de corriente monzónicas en el continente asiático [29] [31]. Por esto se ha manifestado la necesidad de analizar de forma específica cada región, agrupándolas según sus características para establecer un conjunto de criterios que permitan la localización global de la ITCZ [32].

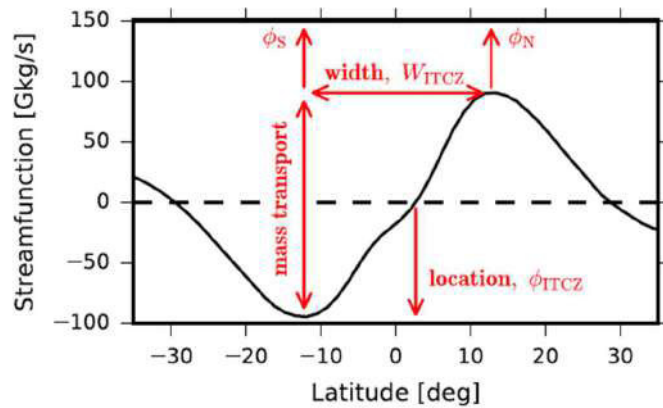


Figura 10. Descripción de variaciones en las características de la ITCZ entre 1985-2004.
Fuente: [33]

Otra variable importante que debe ser tomada en cuenta en la localización de la ITCZ es que se encuentra sujeta, al igual que la mayoría de variables atmosféricas, a nuevos fenómenos antropológicos como la emisión de aerosoles, contaminación de océanos y deforestación. Varios estudios han mostrado un incremento en la intensidad de las zonas de precipitación entorno a la región tropical. Debido a esto la ITCZ también ha sufrido cambios significativos, como se puede observar en la figura 10, de los cuales destaca el incremento en su amplitud y la disminución de transporte de masa [34] [33].

2. METODOLOGÍA

En este proyecto se desarrolla una metodología heurística fundamentada en procedimientos estándar de la ciencia de datos, el cual consiste en: recolección, limpieza, análisis exploratorio de datos, modelado y creación de algoritmos, y visualización de resultados [35]. Diferentes proyectos meteorológicos, ambientales y energéticos, han hecho uso de la ciencia de datos en combinación con modelos numéricos y datos satelitales para obtener resultados estadísticos [18][36]. Se emplea como herramienta computacional el lenguaje Matlab, y se realizan varios algoritmos independientes debido a la necesidad de iterar entre la creación de algoritmos de análisis y depuración, varias veces, tal como se presenta en el siguiente esquema:

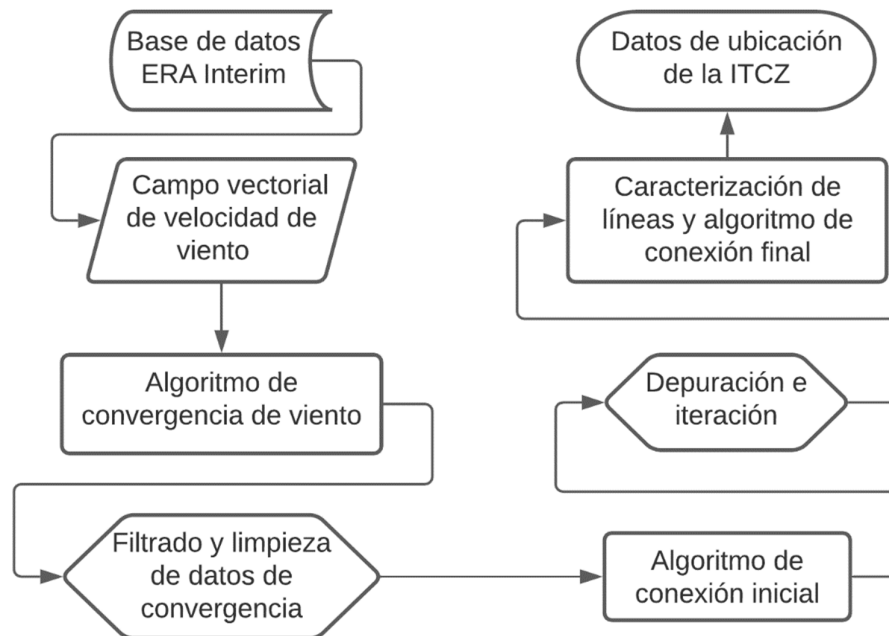


Figura 11. Esquema de la metodología aplicada al proyecto.

Fuente: [Propia]

2.1 Algoritmo de convergencia del viento.

Para desarrollar el algoritmo de convergencia se consideran las características fundamentales de la ITCZ, que tal como se explicó previamente, se manifiesta como la convergencia entre corrientes de viento opuestas en sentido meridional, debido a la diferencia de presión. Esto permite aprovechar los datos de viento (a 10m de altitud) provistos por ERA Interim para detectar esta convergencia en la inversión del sentido de flujo del viento, que se manifiesta en el cambio de signo entre una celda del mallado y otra adyacente. También se verifica que la velocidad de viento no sea demasiado elevada, sobre todo en su componente meridional, pues esta es otra característica de la ITCZ [10].

Por tanto se establecen 3 condiciones para identificar puntos de convergencia:

- Componente meridional de la velocidad menor a 10 m/s.
- Rapidez de viento menor a 10m/s.
- Cambio de dirección en la velocidad, representado por un cambio de signo entre celdas adyacentes de la malla gaussiana.

Los valores de la rapidez y velocidad fueron seleccionados empíricamente, mediante la evaluación de diferentes valores de prueba y el análisis de sus resultados.

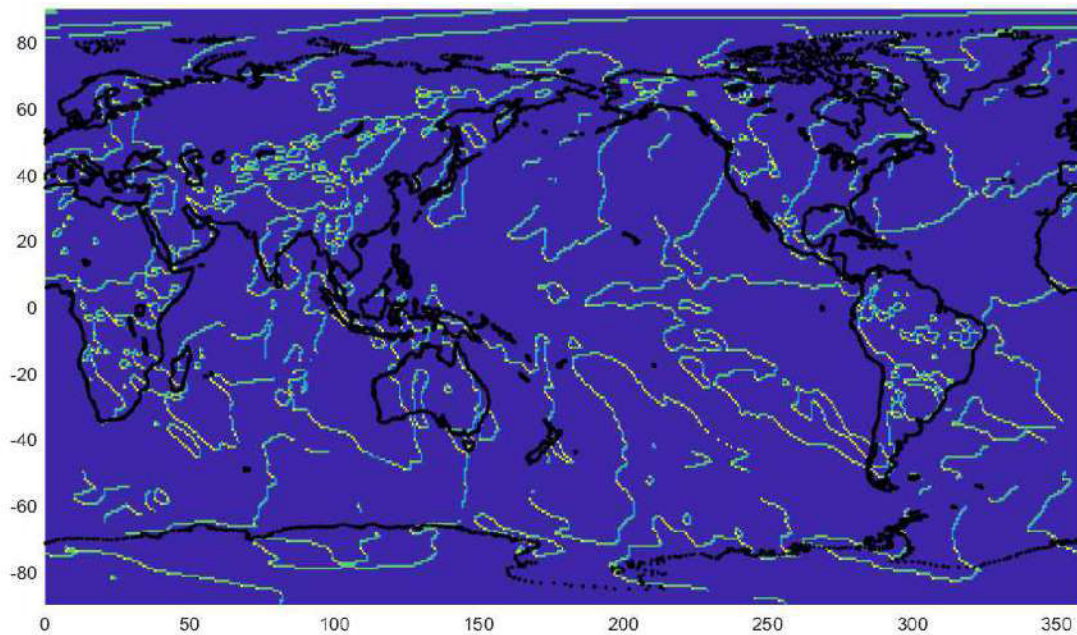


Figura 12. Convergencia de viento con referencia de tendencia de la intensidad de convergencia.
Fuente: [Propia]

Como se puede observar en la figura 12, como resultado del primer algoritmo se obtienen puntos de convergencia iniciales a nivel global, los cuales se emplean para detectar las líneas de convergencia y empezar el procesamiento de datos.

2.2 Organización de datos de convergencia.

Una vez que se tienen los puntos de convergencia es necesario empezar un proceso de organización que filtre y depure los resultados a fin de que se reduzca al mínimo la cantidad necesarias de líneas para su análisis. Este proceso se compone de dos pasos:

- Limpieza de puntos fuera de rango de latitud de la ITCZ.
- Agrupación de puntos.

2.2.1 Limpieza de puntos fuera de rango de latitud de la ITCZ.

Los puntos obtenidos luego del algoritmo de convergencia se encuentran ubicados en todo el rango de latitudes y longitudes, pero para analizar la ubicación de la ITCZ se requiere únicamente los que se encuentren en el rango de la celda de circulación de Hadley [13][37]. Sin embargo, se incrementa ligeramente el rango con la finalidad de identificar posibles bifurcaciones o sesgos con otras zonas de convergencia.

Luego de realizar la limpieza, un primer análisis visual de los datos permite identificar un problema de distribución, pues los datos se encuentran dispersos y son redundantes, como se puede observar en la figura 13. Para resolverlo se realiza un agrupamiento, con el cual se consigue reducir la cantidad de puntos sin alterar la tendencia ni la estructura de su ubicación.

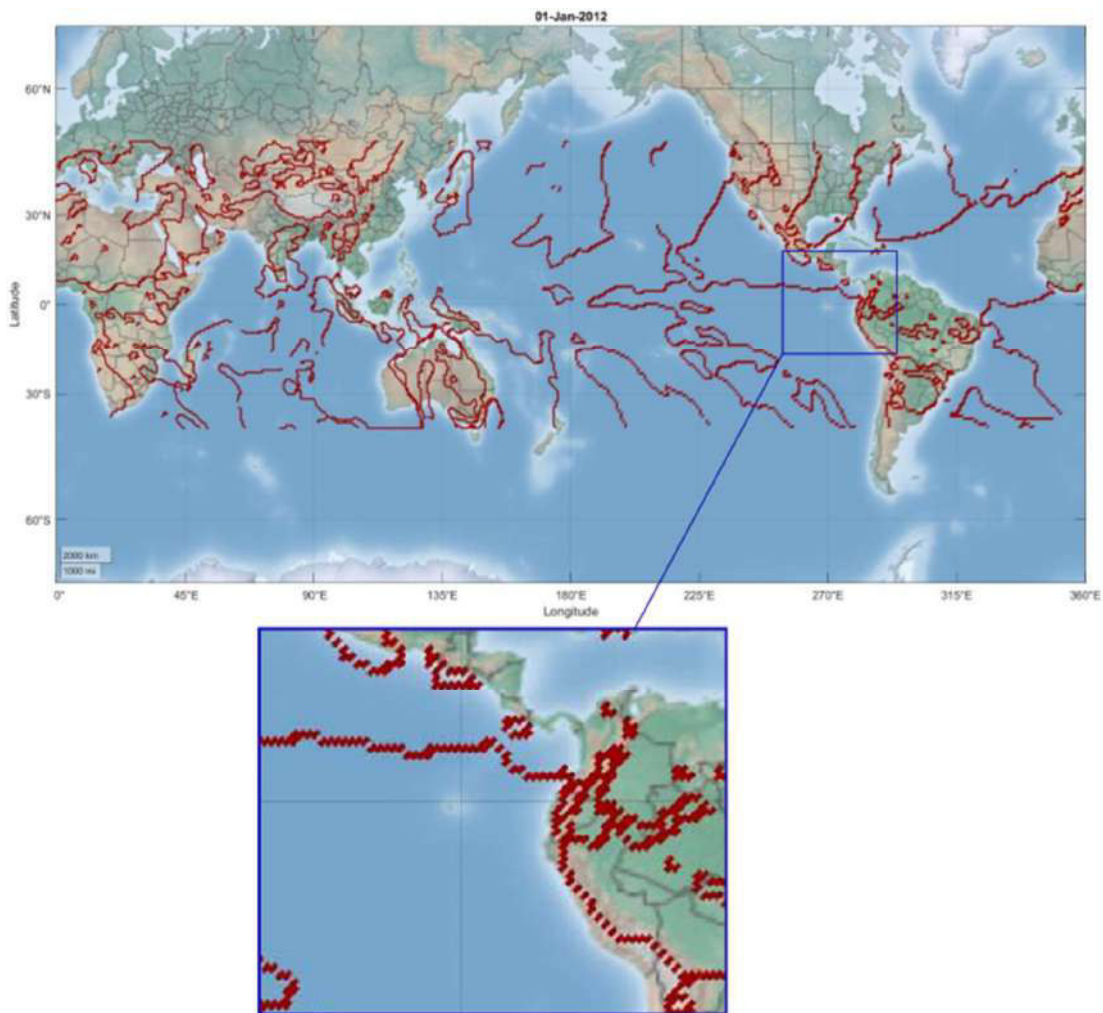


Figura 13. Visualización de puntos de convergencia iniciales.
Fuente: [Propia]

2.2.2 Agrupamiento.

El agrupamiento es un paso de rutina en la ejecución de análisis de datos, pues permite limpiar, filtrar y encontrar similitud en un conjunto de datos para obtener subconjuntos que lo representen, conservando características definitivas y estructurales [35].

El método de agrupamiento empleado se denomina K-Means, y consiste en agrupar los puntos que presenten la menor distancia euclidiana media entre ellos, y luego obtener un centroide del conjunto que reemplace a los puntos constituyentes [35][38]. Para realizar este agrupamiento se siguen los siguientes pasos:

1. Seleccionar el número de centroides que se desea obtener con el algoritmo.
2. El algoritmo arranca con el número de centroides establecido en ubicaciones aleatorias, y realiza la agrupación de puntos cercanos.
3. De los grupos encontrados se obtiene un nuevo centroide el cual se usa para realizar una segunda iteración del algoritmo y agrupar nuevamente.
4. Se repiten las iteraciones hasta encontrar que el número de elementos en los subconjuntos no tiene una variación significativa.
5. Se obtienen los centroides de los subconjuntos definitivos.

Una vez que se han encontrado los centroides, estos pueden ser empleados como nuevos puntos de tendencia. Por lo que el número de puntos se ve reducido significativamente como se puede apreciar en la siguiente figura.

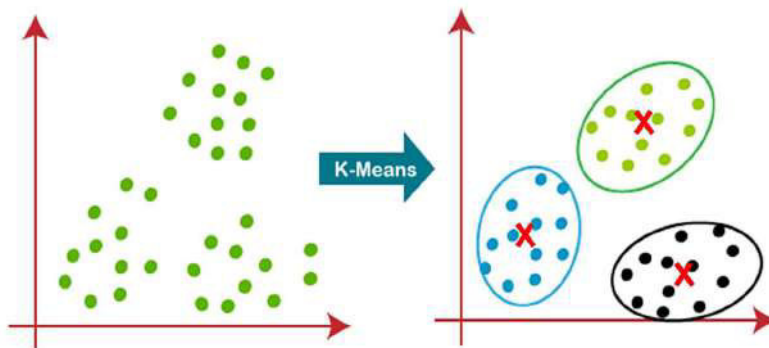


Figura 14. Ejemplo de funcionamiento del agrupamiento K-Means.

Fuente: [39]

Aunque existen criterios de selección para el valor de k , generalmente se emplean métodos que permitan obtener uniformidad en la distribución y que reduzcan los espacios vacíos entre grupos al mínimo, para lo cual se emplean métricas de calidad [40]. Sin embargo, en este caso el valor de k fue seleccionado mediante ensayo y error, debido a que la única consideración importante es que, al pasar de la referencia de puntos redundantes iniciales

a los nuevos centroides de los grupos, no se pierda la tendencia en las zonas de convergencia. El valor de k establecido para el número de grupos en este proyecto fue 2500, pues se encontró que entre 2000 y 3000 puntos la diferencia era mínima visualmente por lo que se tomó el valor medio.

En la figura 15 se observa el efecto en los datos, luego del agrupamiento K-Means, donde las cruces en color amarillo representan los datos de convergencia iniciales y los círculos de color negro representan los nuevos puntos obtenidos como centroides de los diferentes grupos generados.

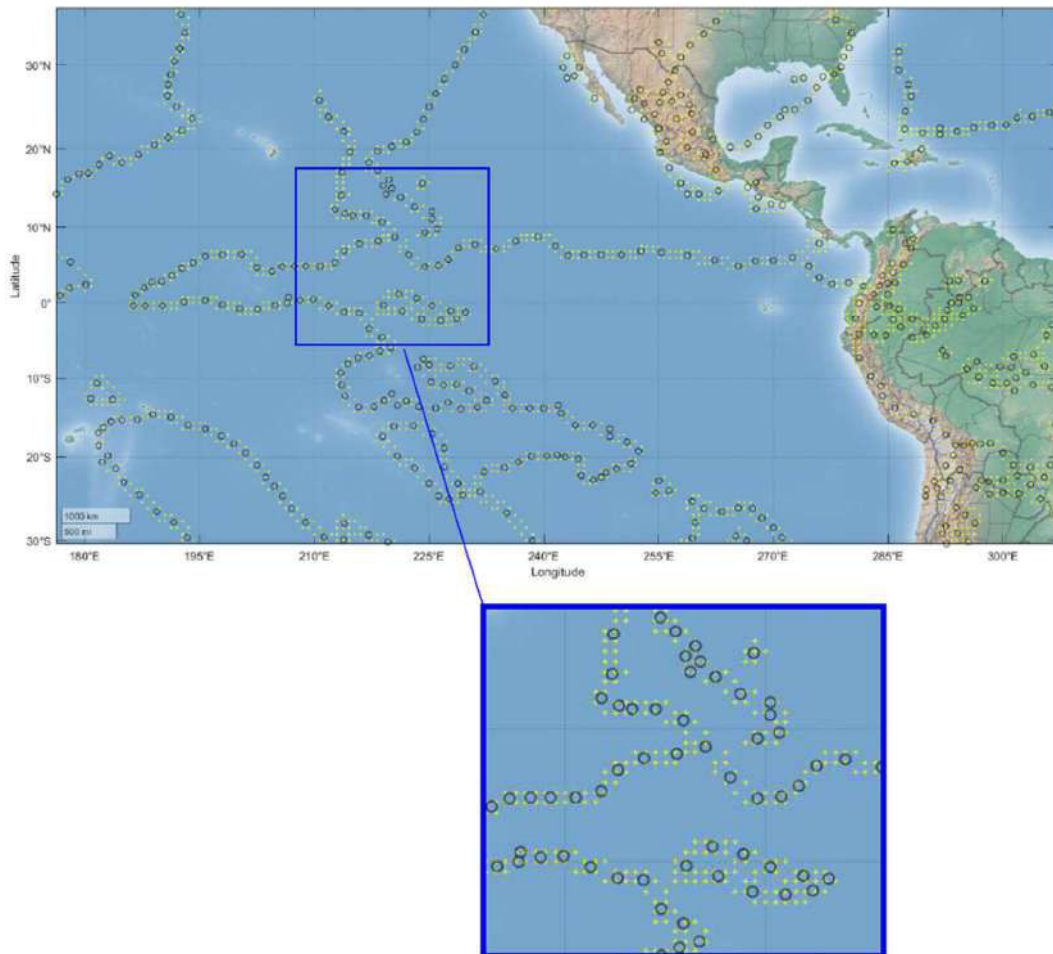


Figura 15. Efecto del agrupamiento mediante K-Means.
Fuente: [Propia]

2.3 Algoritmo de conexión inicial.

Este algoritmo se encarga de realizar la primera conexión entre los puntos de convergencia, con la finalidad de conseguir líneas continuas que posteriormente se

concatenen bajo un nuevo criterio y den forma a la ITCZ. En la figura 16 se observa las líneas obtenidas mediante este algoritmo.

La primera conexión se realiza únicamente considerando la distancia entre puntos, para lo cual se establece la condición de unir cualquier punto que se encuentre en un radio de 300km, y una vez que no existan más puntos en dicho radio, se almacena la línea y se empieza una nueva, hasta terminar todos los puntos de convergencia iniciales. La selección de la distancia se realizó encontrando la distancia media entre puntos ubicados de forma adyacente, y reduciendo su valor un 20%, con el fin de obtener una mayor cantidad de líneas continuas aunque no tengan una gran longitud.

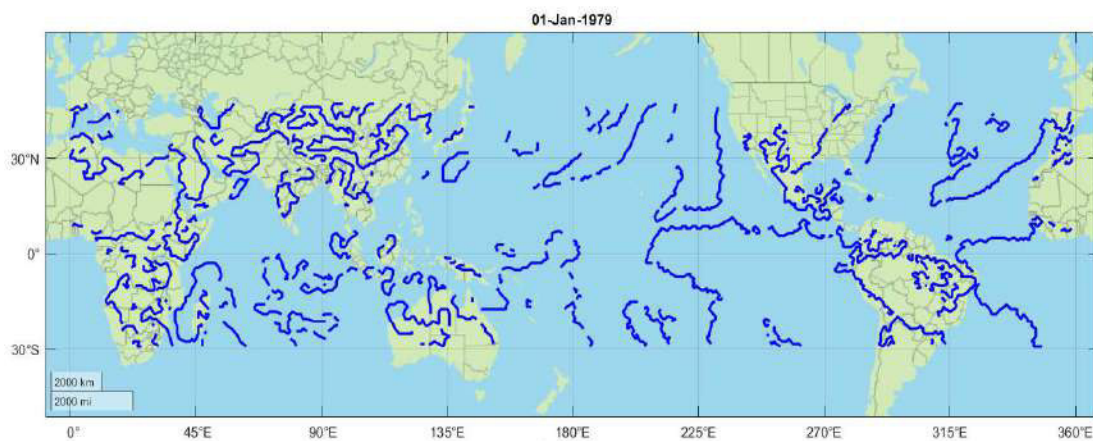


Figura 16. Resultado del algoritmo de conexión inicial.
Fuente: [Propia]

2.4 Análisis adicional y algoritmo de conexión final.

Una vez que se han obtenido líneas de convergencia cortas es necesario caracterizarlas para identificar cuáles son las que pertenecen a la ITCZ. Esto se consigue estableciendo características definitivas de las líneas en cuanto a su dirección y tendencia mediante un nuevo algoritmo.

En este punto se vuelve notable el requerimiento de una elevada capacidad computacional y grandes lapsos de tiempo para el procesamiento de los datos a una escala global, por lo que se reduce la zona de análisis al Pacífico oriental, delimitado entre los 180° y 285° de longitud, como modelo de prueba de la metodología.

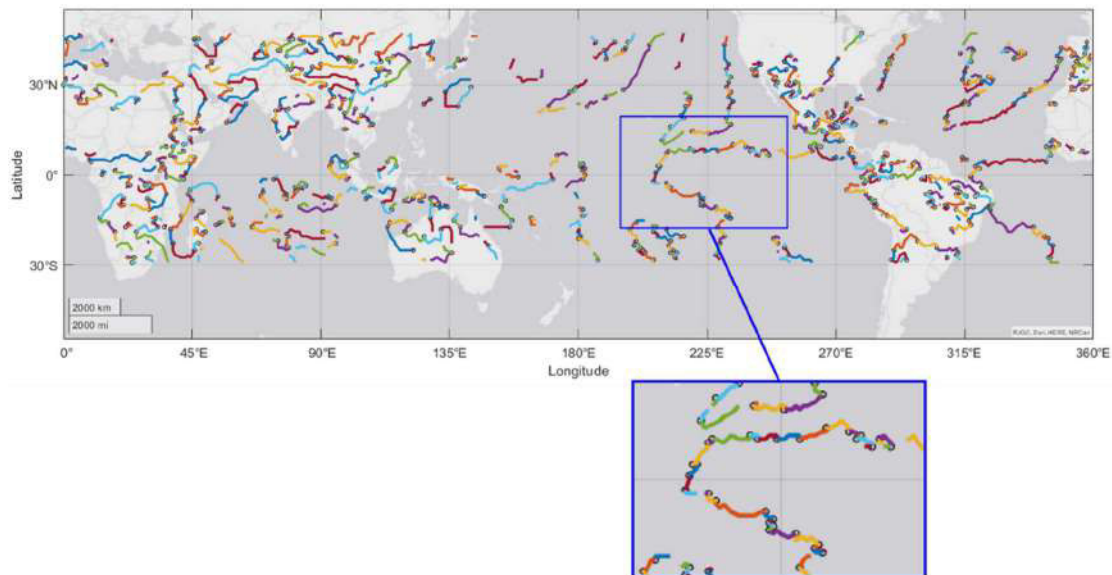
Posteriormente se selecciona una línea base que sirve como referencia para la conexión final, bajo la premisa principal de que sea la línea horizontal de mayor longitud entre un grupo preseleccionado de líneas para la región.

2.4.1 Caracterización de las líneas de convergencia.

Para caracterizar las líneas de convergencia a fin de saber si corresponden a la ITCZ, se emplea un criterio robusto respecto a su dirección y tendencia, el cual se ha respaldado en base a los resultados de estudios previos que caracterizan la dinámica de la ITCZ [13] [24].

Este criterio consiste en que las líneas deben mantener una tendencia unidireccional en sentido oeste-este, es decir no deben tener giros, aunque pueden variar en el sentido sur-norte. Cuando la línea no cumple este criterio, se recorta para formar divisiones que si cumplen. Esto permite obtener líneas más cortas pero bien definidas en dirección, con lo que posteriormente se trabajará para realizar una segunda conexión cuando las líneas compartan tendencia direccional.

Como se muestra en la figura 17 se obtiene una gran cantidad de subdivisiones respecto a las líneas de convergencia iniciales, marcadas con diferente color, y a su vez se puede visualizar como estas manifiestan una dirección definida sin perder la tendencia de la convergencia en la región.



*Figura 17. Resultados de la caracterización de líneas de forma global.
Fuente: [Propia]*

2.4.2 Identificación de línea base y depuración.

Para identificar la línea de base se preseleccionan las líneas que se encuentran en el Pacífico oriental con mayor cercanía al continente americano. Esto debido a que existe una gran influencia de la región montañosa en los flujos de viento de la región [41]. Adicionalmente la bifurcación de la ITCZ con la Zona de Convergencia del Pacífico Sur

(SPCZ) se manifiesta en un rango de longitudes más distante al continente [17][42]. Partir desde una longitud próxima al continente facilita la identificación de la ITCZ en regiones de bifurcación.

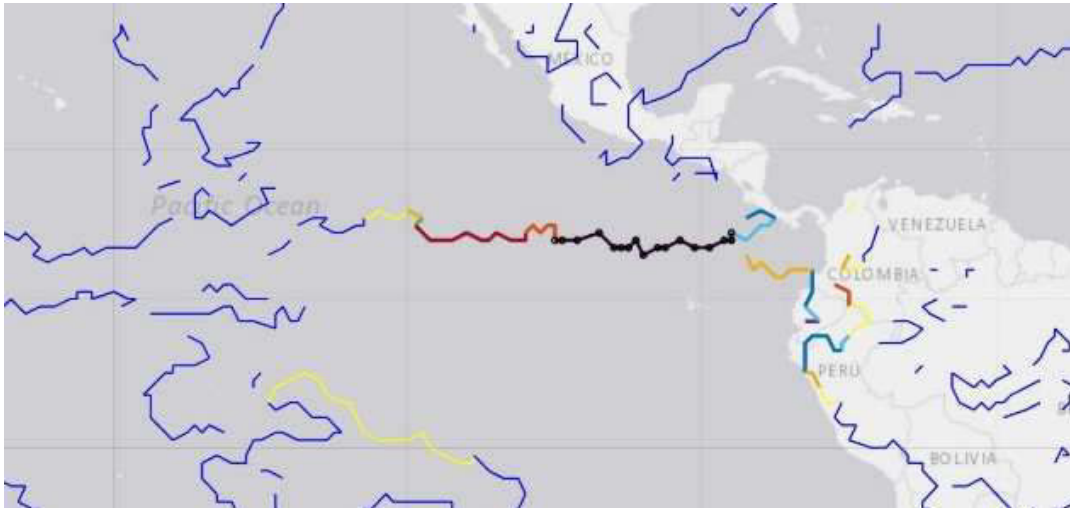


Figura 18. Identificación de primera línea base de la ITCZ en región del pacífico este.
Fuente: [Propia]

Como se observa en la figura 18, se selecciona la línea más extensa en la región predefinida, como la línea de base (línea negra con puntos). Posteriormente se une la línea de base con las líneas adyacentes, siempre que cumplan el criterio de similitud en direccionalidad. En la figura 19 se observa la línea de base extendida (línea roja con puntos amarillos), que se interrumpe en cuanto encuentra un cambio de tendencia direccional o cuando ya no existen más puntos en el radio de distancia seleccionado. Adicionalmente en cada iteración de conexión se limpian las líneas que se encuentran en el mismo rango de longitudes que la línea de base extendida a fin de obtener una mejor visualización.

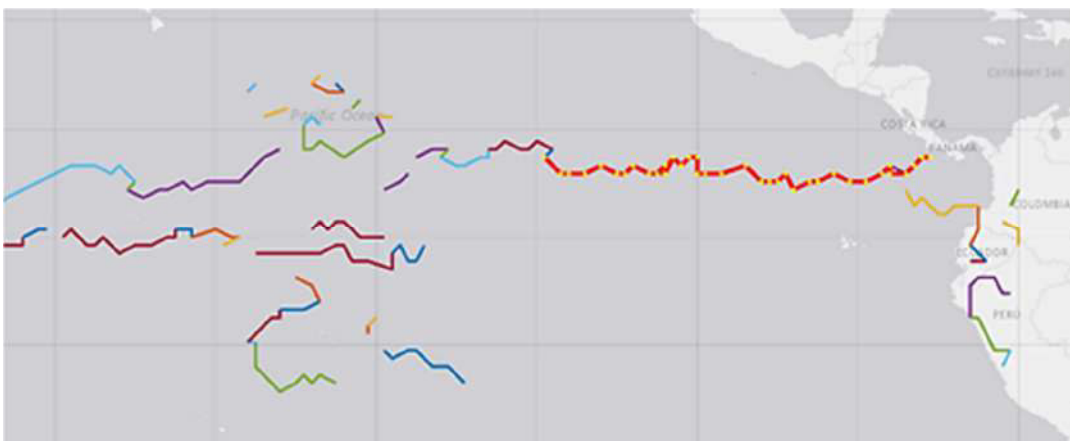


Figura 19. Línea de base extendida, luego de realizar la iteración de conexión y limpieza.
Fuente: [Propia]

Una vez que se consigue la línea base extendida final, se realiza una depuración de los datos que no serán necesarios para el análisis de la ITCZ y la conexión final de líneas. Para esto se emplea una herramienta del software Matlab que permite graficar un polígono en una zona respectiva del mapa, y encuentra todos los puntos del conjunto de datos que se encuentren dentro del polígono. De esta manera se depuran todas las líneas de convergencia que se encuentren en la región continental, como se muestra en la figura 20. Adicionalmente se realiza una limpieza en todas las zonas del mapa que no corresponden a la región delimitada previamente en el Pacífico oriental, a fin de tener una menor cantidad de datos y realizar el algoritmo final de conexión únicamente sobre estos datos.

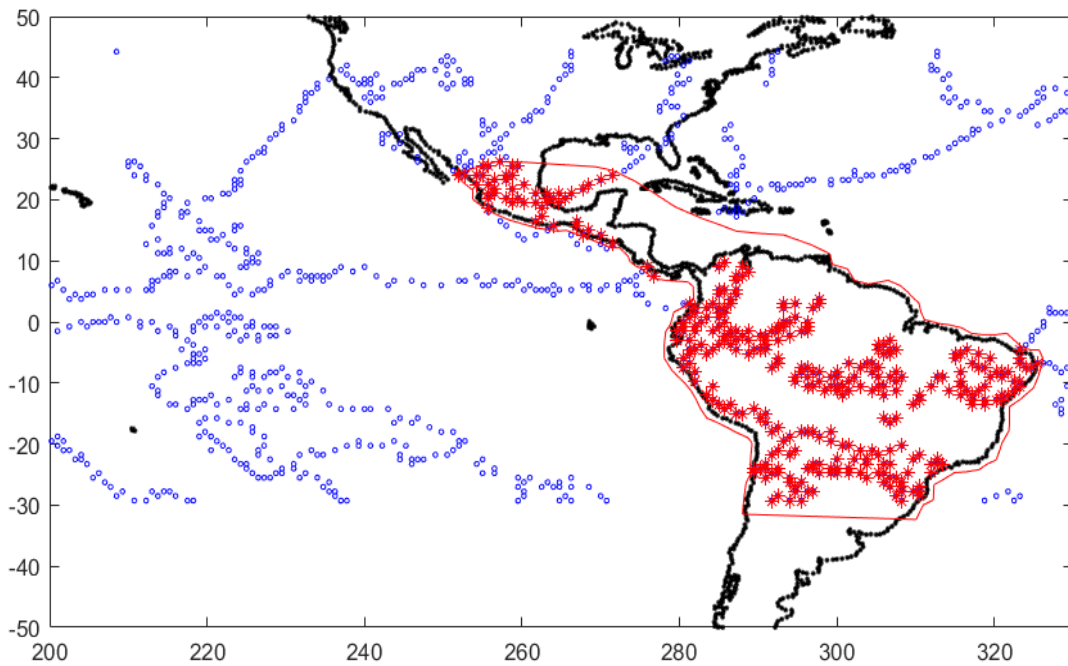


Figura 20. Identificación de puntos dentro del polígono continental para depuración.
Fuente: [Propia]

2.4.3 Conexión final.

Para el algoritmo de conexión final se requiere combinar el criterio de longitud y tendencia de dirección, junto con una característica limitante para discernir cuando una línea está completa. Se detalla a continuación los pasos que sigue el algoritmo:

1. Se busca los extremos de líneas que se encuentren a una distancia menor a 275 km. En caso de existir más de una línea se conectará con la que se encuentre más cercana.

2. Se realiza una modificación a todas las líneas que se encuentran dentro del rango de la línea interconectada principal, para conseguir que únicamente los puntos que se encuentran fuera del rango se consideren para nuevas conexiones.
3. En caso de no encontrar más líneas con posibilidad de conexión en el radio establecido, se almacena la línea y se empieza una nueva con la línea más cercana a la línea interconectada principal.
4. Se iteran estos pasos hasta conseguir todas las líneas disponibles, y se termina el algoritmo en caso de no existir más posibilidades de conexión.

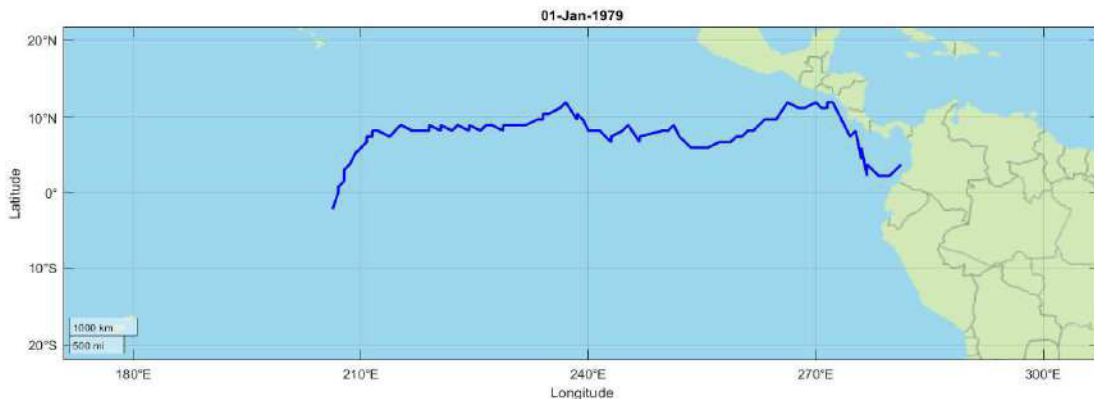


Figura 21. Línea de convergencia obtenida luego de la conexión final.
Fuente:[Propia]

Una vez que se ha realizado el procesamiento de todos los datos disponibles en la base de ERA Interim se cuenta con arreglos independientes de resultados para cada intervalo de tiempo, los mismos que pueden agruparse de acuerdo con el requerimiento del análisis estadístico. Como se observa en la figura 22.a, las líneas agrupadas para un mes presentan una visualización más completa de la localización de la ITCZ, pero no permiten identificar de forma clara la tendencia ni la densidad en una zona específica. Por lo que se requiere considerar las líneas como puntos, como se observa en la figura 22.b, para focalizar el análisis estadístico en su distribución.

En total se tienen 4 sets de datos por cada día, agrupados por cada mes en un total de 124 sets de datos que conforman una nube de puntos de la posible localización de la ITCZ. Con esto se procede a realizar el análisis estadístico de los resultados, mediante el desarrollo de diagramas de caja para obtener una distribución en 52 intervalos de longitud desde 180° hasta 280°.

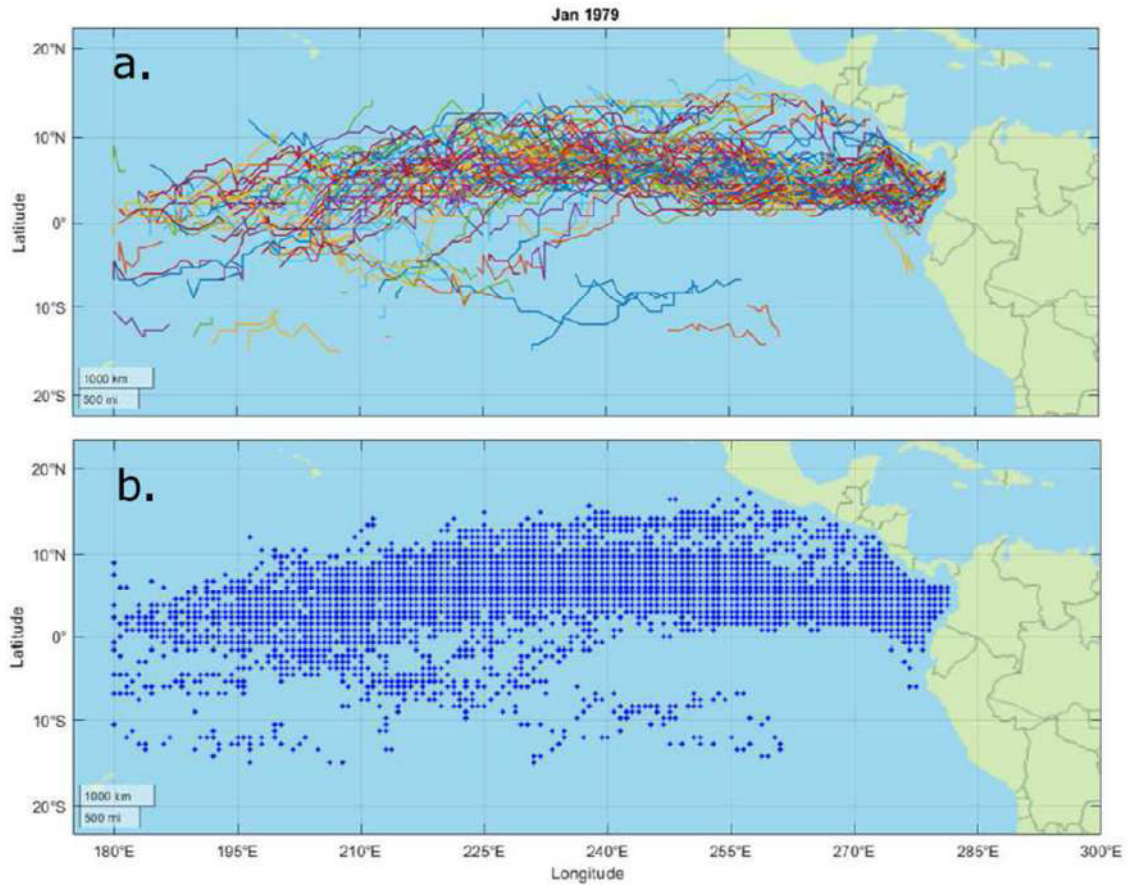


Figura 22. Resultados de la ITCZ agrupados para un mes.
a) Líneas de convergencia correspondientes a la ITCZ agrupada para un mes.
b) Puntos de convergencia correspondientes a la ITCZ. Fuente: [Propia]

Todos los algoritmos, empleados para el desarrollo de este trabajo se encuentran disponibles en un repositorio de GitHub, de acceso público, el cual se puede encontrar en la siguiente dirección: <https://github.com/JBravo94EC/ITCZPacific>

3. RESULTADOS

3.1 Presentación de resultados.

Mediante la distribución de los diagramas de cajas se visualiza, en cada mes, el rango de latitudes donde se encuentra la ITCZ para cada intervalo de longitudes, además las dimensiones del rango intercuartílico y el rango de límites externos resultan útiles como indicadores de la amplitud de la ITCZ, como se observa en la figura 23, mientras mayor es el espacio de las cajas azules y con ello la longitud de la línea externa roja, se interpreta que la amplitud de la ITCZ será mayor en esa región, pues la incertidumbre en su posición es mayor.

En esta sección se añade únicamente un diagrama de caja mensual como ejemplo. En el anexo 1 se incluye todos los resultados obtenidos para los 12 meses, de los 41 años de datos disponibles. Para facilitar su acceso digital, el anexo 1 se encuentra disponible en la dirección: <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.19102898.v1>

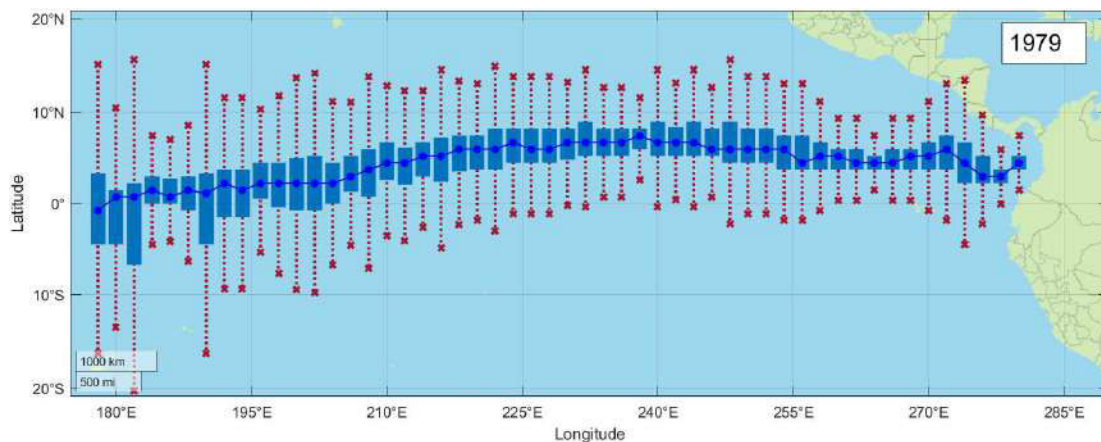


Figura 23. Diagrama de cajas para ubicación de la ITCZ en el mes de enero.
Fuente:[Propia]

Adicionalmente se presenta en la figura 24, tres gráficas de la mediana para cada mes en los 41 años de datos, con diferentes rangos de longitudes. Esta figura sirve para analizar la variación estacional y temporal de la ubicación de la ITCZ, respecto al tiempo y respecto a la posición geográfica de análisis.

También se incluyen en la figura 25, un diagrama de caja acumulado para cada mes, considerando los 41 años de datos, donde se incluyen las líneas medianas de los años que han tenido la presencia del fenómeno del niño en la zona de análisis. Con esto se puede realizar un análisis de la incidencia de este fenómeno en la ubicación de la ITCZ y su comportamiento.

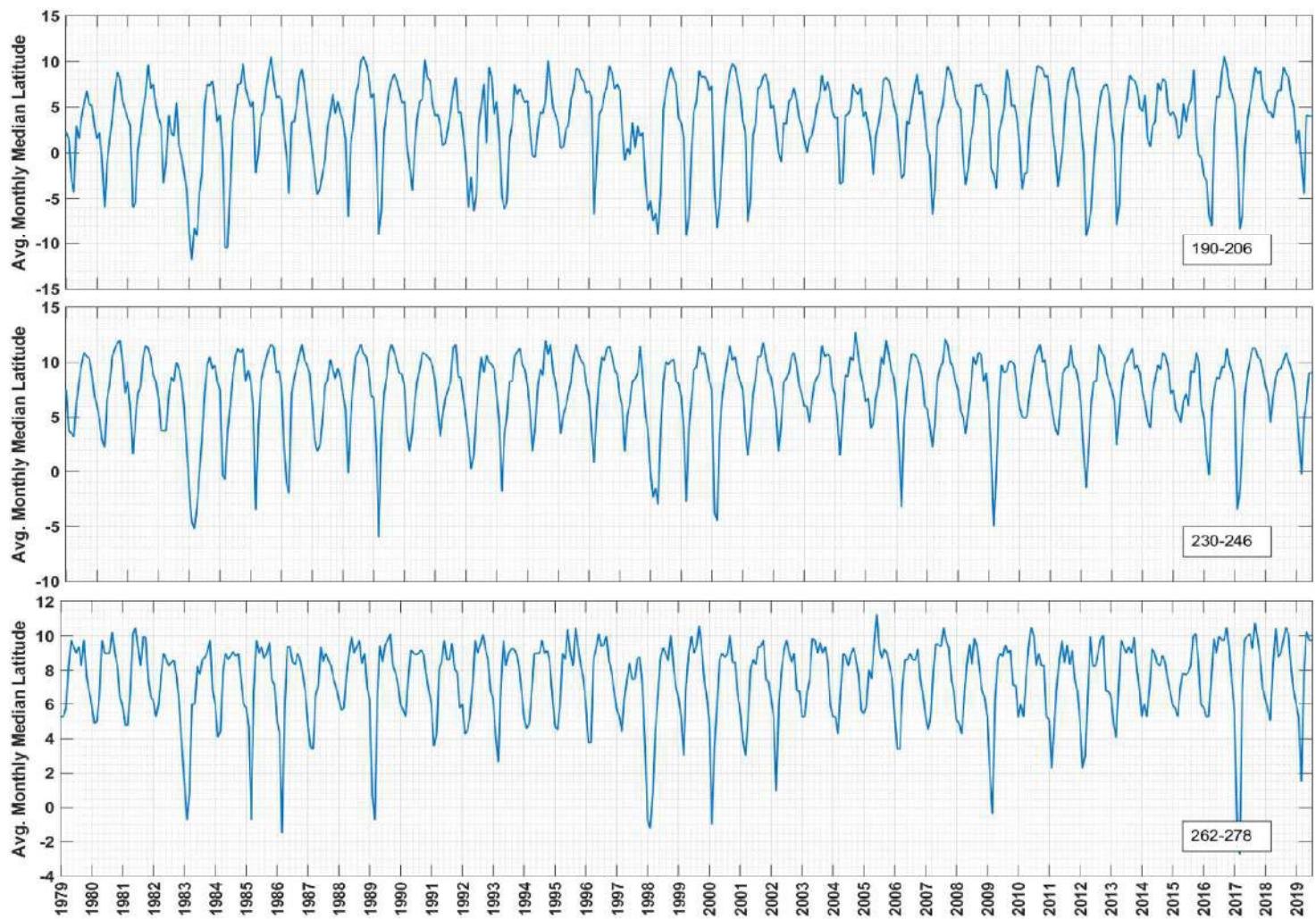
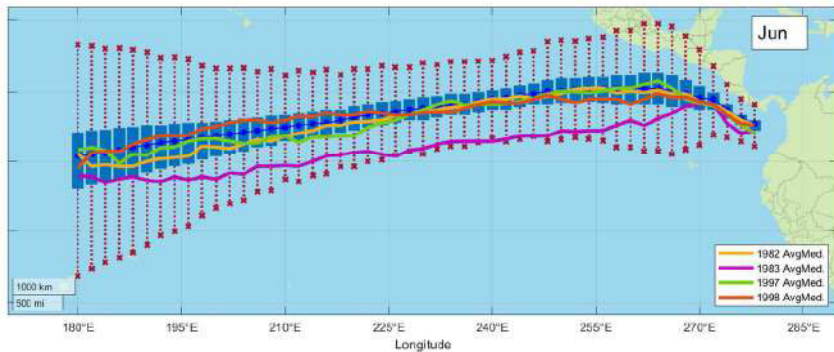
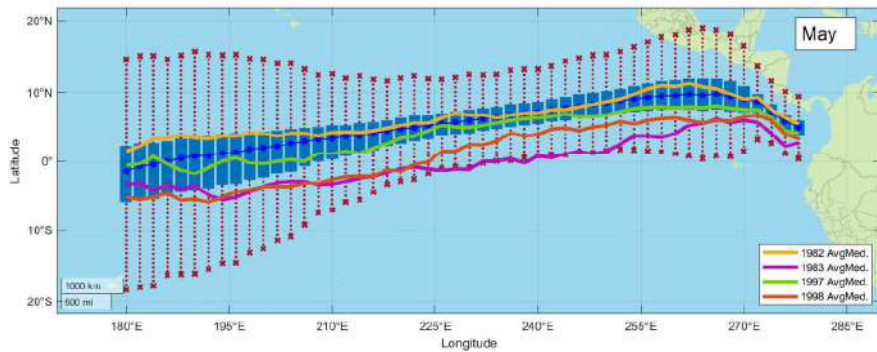
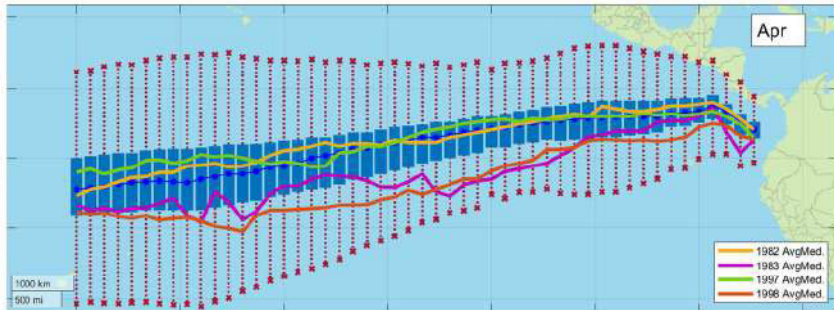
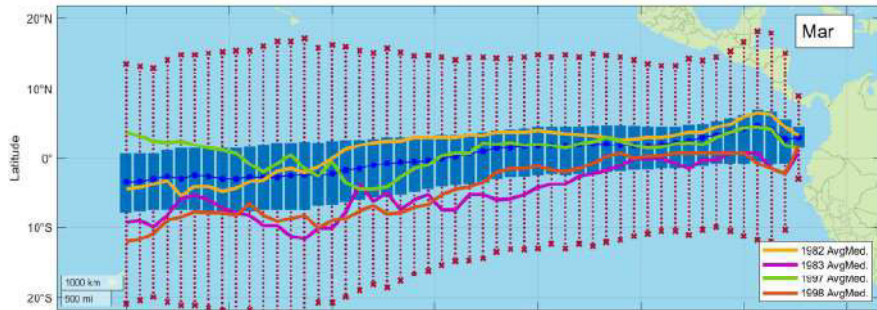
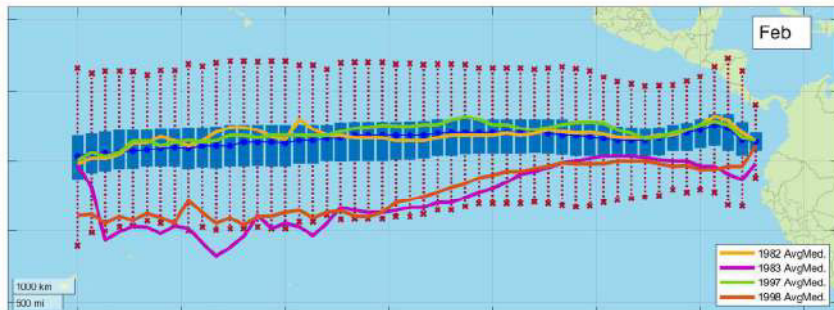
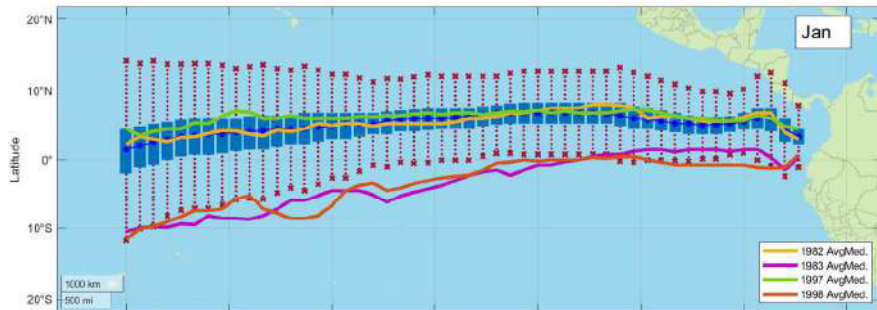


Figura 24. Valores de latitud mediana acumulados para cada mes por 41 años, para diferentes rangos de longitudes.
Fuente: [Propia]



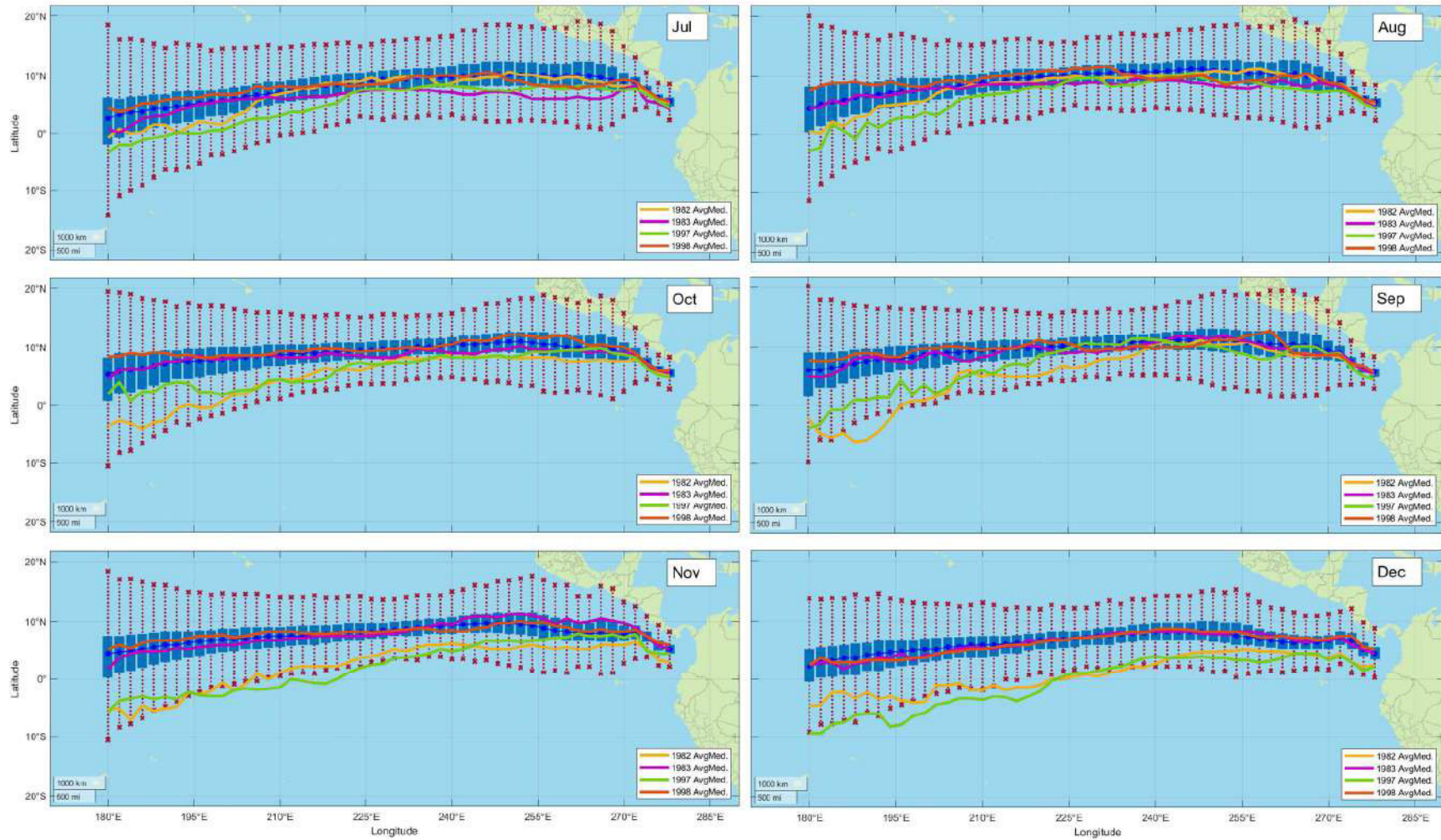


Figura 25. Diagramas de caja acumulados, de la ubicación de la ITCZ para cada mes y líneas medianas de años con presencia de ENSO.
Fuente: [Propia]

Finalmente, en la figura 26, se presentan dos diagramas de barras con los valores acumulados de la mediana promedio, y los rangos intercuartílicos y extremos promedio, para cada mes en todos los años disponibles de datos. Donde se refleja una tendencia de ubicación y dispersión de la ITCZ en cada mes, y con ello su dificultad de localización.

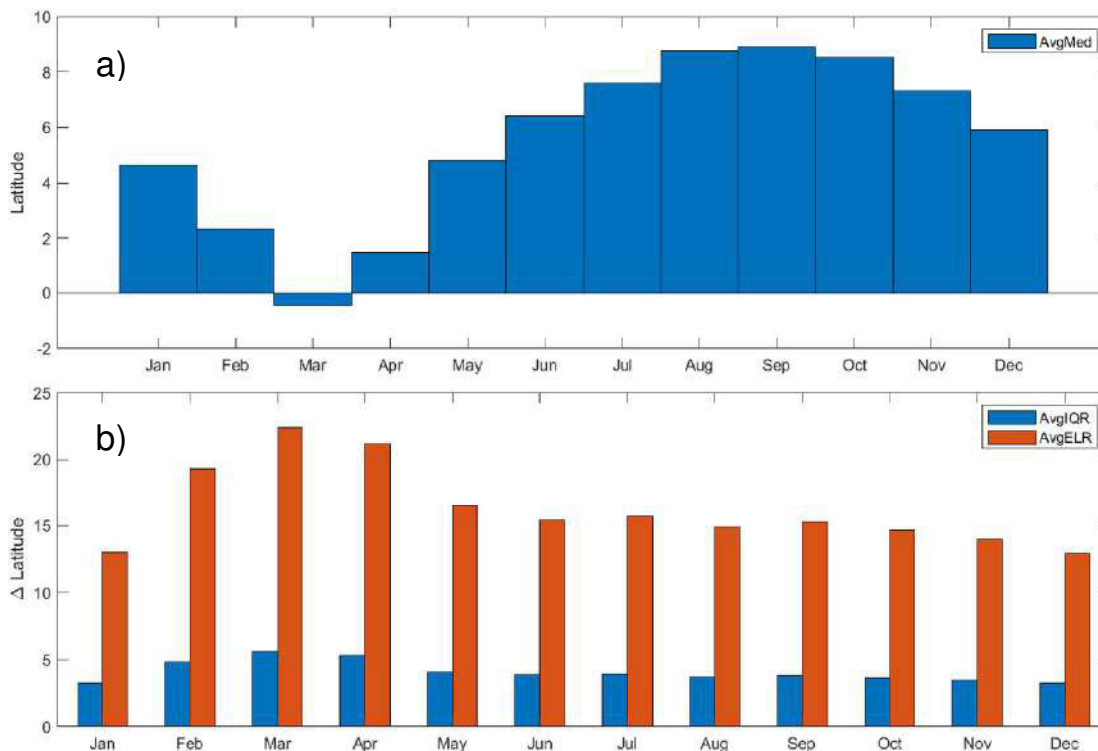


Figura 26. Estadísticas acumuladas promedio, de cada mes por 41 años, de:
a) Mediana b) Rango intercuartílico y rango de valores extremos.
 Fuente: [Propia]

3.2 Análisis de resultados.

El uso de una metodología heurística en el desarrollo del proyecto permite que los resultados tengan una aproximación distinta en comparación con métodos propuestos por diferentes autores. Aunque se ha planteado anteriormente la relación de la velocidad de viento con la formación de zonas de convergencia, sobre todo estableciendo su relación con la precipitación característica de las mismas, no existía un método de análisis computacional que empleara esta variable para localizar la zona de convergencia intertropical [10]. También es necesario considerar que los modelos de reanálisis brindan datos más precisos y compuestos en comparación con los anteriores esquemas de predicción meteorológica, por lo cual la metodología propuesta plantea criterios robustos para estimar la convergencia y relacionarla con la ubicación de la ITCZ, reduciendo la posibilidad de una acumulación de errores de cálculo o sesgos en los resultados [1][22].

Los diagramas de caja mensuales permiten observar que la distribución de posiciones de la ITCZ se mantiene mayoritariamente en un rango de latitudes entre 20°N y 15°S, y también se nota un desplazamiento hacia el norte de la línea ecuatorial acompañado con una disminución en el rango intercuartil que se manifiesta de manera paulatina a partir del mes de abril. Esto se observa de forma resumida en la figura 26, en la cual el uso de valores promedio para la distribución de cuartiles y los límites externos permiten identificar una tendencia marcada del desplazamiento meridional de la ITCZ, alcanzando su valor más bajo en el mes de marzo, y su valor más alto entre agosto y septiembre. De esta forma es posible coincidir con lo expuesto por Schneider [13] y Philander [37] en que la ITCZ se ubica principalmente sobre la línea ecuatorial, con puntuales excepciones en los meses de marzo y abril de ciertos años. A su vez la distribución obtenida para la ubicación de la ITCZ en cada mes compone un recurso importante para su análisis, abasteciendo de datos y reduciendo la incertidumbre con otras zonas de convergencia o la existencia de bifurcaciones que mencionan Bellucci [17] y Bischoff [26].

Aunque el comportamiento de la ITCZ es consistente para cada mes a través de los años, existen variaciones abruptas importantes en los años donde se encontró activo el fenómeno del Niño en la región. En la figura 25 es posible visualizar un comportamiento atípico, en referencia a la distribución acumulada, entre los meses de octubre de 1982 hasta junio de 1983 y desde octubre de 1997 hasta junio de 1998. Esto concuerda con lo planteado por Adams, Münnich [43] y Ham [44] respecto al descenso latitudinal de la ITCZ en relación con el flujo energético en la zona intertropical y su relación con la presencia de ENSO. También puede atribuirse el desplazamiento abrupto de la ITCZ a distintos factores medioambientales y de cambio climático como mencionan Hu [45] y Sulca [46], lo cual podría explicar la presencia de varios meses atípicos identificados en las distribuciones mensuales, como son: Enero 1992 y 2016, Febrero 1992, 2000, 2010 y 2017, Abril 1996 y 2012, entre otros.

Adicionalmente, en la figura 26 se puede observar el desplazamiento de la ITCZ en función de las regiones longitudinales, donde se evidencia que existen desplazamientos más notorios en la región del Pacífico oriental que más dista del continente americano y desplazamientos cortos y menos frecuentes, en la región más cercana. También es posible identificar una variación estacional en esta figura, debido a que en cada año existe un comportamiento similar respecto a la ubicación en los diferentes meses, cumpliendo con la tendencia a descender en el primer trimestre del año y luego ascender con fluctuaciones en el segundo y tercer trimestre, lo que ya había sido propuesto en estudios realizados por Lashkari [47] y Keshtgar [25].

Al visualizar las distribuciones mensuales de todos los años se identifican meses con un rango intercuartil atípico como: Febrero de 1984, 1995, Septiembre de 1982, 1992 y 2015, y Julio de 1994, entre otros. También es posible identificar una reducción del rango intercuartil en los años posteriores a 1900, con excepciones puntuales, lo cual coincide con las proyecciones de Byrne [33] respecto a la disminución de la amplitud de la ITCZ en el siglo 20. Aunque se manifiestan puntualmente, picos en el variación de latitud del rango intercuartil en los años con presencia de ENSO, lo cual podría implicar que junto con el descenso longitudinal también se manifieste un incremento de la amplitud en la ITCZ como consecuencia de este fenómeno.

Sobre los resultados también se puede interpretar que enero y diciembre presentan una menor dispersión de datos, lo cual facilita su localización y reduce la incertidumbre, mientras que en contraste marzo y abril tienen un mayor valor para su rango intercuartílico promedio, por lo que su localización representa una dificultad mayor.

Finalmente es necesario contextualizar que los resultados de esta metodología buscan ser un complemento para una serie de herramientas climatológicas de predicción, desarrolladas con la finalidad de integrar un sistema de soporte técnico para tomar decisiones respecto a la planificación y desarrollo de operaciones marinas en el país. Por esto, no se puede considerar los resultados como un punto final, sino al contrario, como un punto de partida para continuar desarrollando un modelo completo que permita emplear la ITCZ como característica predictiva de clima y fenómenos atmosféricos y oceánicos. A su vez en el desarrollo de este estudio se encontraron avances respecto a la localización de la ITCZ en diferentes regiones, los mismos que emplean modelos de datos atmosféricos similares combinados con un procesamiento estadístico, como el trabajo de Žagar [4], Colna [30], y Lashkari [47].

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El planteamiento inicial del proyecto consideraba como un objetivo la localización de la ITCZ en una escala global, sin embargo, diferentes limitaciones computacionales y de tiempo, restringieron la región de análisis al Pacífico oriental. Por tanto todos los objetivos del proyecto y con ello las conclusiones descritas a continuación se refieren únicamente a esta región.

4.1 Conclusiones

La elaboración de un algoritmo para el post-procesamiento, filtrado y visualización de datos de viento es posible desde diferentes enfoques, en este proyecto el uso de un método heurístico simplificado permitió que el tiempo de trabajo del algoritmo y la memoria requerida para almacenar los datos fueran cortos. Adicionalmente el uso de herramientas integradas en el software Matlab representó una gran ventaja para visualizar de forma estética pero también funcional todas variables necesarias a fin de proceder con el proyecto.

El uso de la prueba y error para encontrar diferentes valores necesarios en los algoritmos de procesamiento no fue la aproximación más exacta al problema, sin embargo, por encontrarse acompañado de herramientas visuales, facilitó la identificación de las variables físicas y geográficas que permitieron localizar la ITCZ, y permitió resolver problemas como el de la bifurcación de zonas de convergencia o la doble ITCZ gracias a la propuesta de criterios robustos en el algoritmo de conexión.

Una vez que se delimitó la región del Pacífico Oriental, como la zona de prueba para la metodología, se consiguió procesar masivamente todos los datos disponibles en la base de ERA Interim, obteniendo la ubicación de la ITCZ para cada intervalo de tiempo y posteriormente un esquema de gráficos que determinarían la variabilidad en su ubicación para cada mes o en comparación del mismo mes en diferentes años. Este esquema fue fundamental para encontrar una similitud de los resultados con diferentes autores que habían manifestado características estacionales y variaciones anuales respecto a la ubicación de la ITCZ.

Aunque el desarrollo de una verificación, mediante el uso de diferentes variables meteorológicas, estaba contemplado como parte del proyecto, se lo ha propuesto como una recomendación, debido a que el tiempo que conlleva realizar una comparación sin

sesgar los resultados habría retrasado la entrega de este trabajo. Sin embargo, la similitud en los resultados al compararlo con estudios de temas meteorológicos y climáticos es un indicio de que la ubicación de la ITCZ obtenida, es acertada.

4.2 Recomendaciones

La necesidad de restringir la localización de la ITCZ a la región del pacífico este, surge debido al requerimiento de una gran capacidad computacional y una mayor cantidad de tiempo para procesar datos a una escala global. No obstante, varios pasos iniciales de la metodología se desarrollaron de forma global y se pudo identificar que los algoritmos de conexión, para las zonas del Atlántico y Pacífico Oriental, podrían ser funcionales con pequeñas adaptaciones que consideren variables y límites propios de las regiones. Por esto se recomienda realizar un nuevo proyecto que tenga como base esta metodología aplicada para diferentes regiones que permitan completar el mapa global de la ubicación de la ITCZ.

También se propone realizar una comparación de los resultados con diferentes variables atmosféricas propias de la ITCZ, como: precipitación, humedad relativa o temperatura, con la finalidad de verificar los resultados de este estudio e identificar las implicaciones que pueda tener la variación en la amplitud y ubicación sobre estas variables.

Adicionalmente en el desarrollo del proyecto se evaluaron diferentes herramientas para análisis de convergencia e interpretación de variables climáticas en un mallado gaussiano, lo cual eventualmente permitió encontrar un set de herramientas para el software Matlab que presentaba diversas funciones que podrían resultar de utilidad para realizar una metodología similar y contrastar los resultados. Se recomienda evaluar el complemento de herramientas climáticas para Matlab propuesto por Greene [48].

Referencias Bibliográficas

- [1] D. E. Waliser and C. Gautier, "A satellite-derived climatology of the ITCZ," *Journal of Climate*, vol. 6, no. 11, pp. 2162–2174, 1993.
- [2] J. M. Wallace and P. V Hobbs, *Atmospheric Science An introductory survey.*, Second. Elsevier, 2006.
- [3] N. Žagar, E. Andersson, and M. Fisher, "Balanced tropical data assimilation based on a study of equatorial waves in ECMWF short-range forecast errors," *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, vol. 131, no. 607, pp. 987–1011, 2005.
- [4] N. Žagar, G. Skok, and J. Tribbia, "Climatology of the ITCZ derived from ERA Interim reanalyses," *J. Geophys. Res. Atmos.*, vol. 116, no. D15, Aug. 2011.
- [5] P. L. Houtekamer and H. L. Mitchell, "Data assimilation using an ensemble Kalman filter technique," *Mon. Weather Rev.*, vol. 126, no. 3, pp. 796–811, 1998.
- [6] J. Barkmeijer, R. Buizza, and T. N. Palmer, "3D-Var Hessian singular vectors and their potential use in the ECMWF Ensemble Prediction System," *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, vol. 125, no. 558, pp. 2333–2351, 1999.
- [7] D. N. Daescu, "On the Sensitivity Equations of Four-Dimensional Variational (4D-Var) Data Assimilation," *Mon. Weather Rev.*, vol. 136, no. 8, pp. 3050–3065, 2008.
- [8] R. M. Adams *et al.*, "Value of Improved Long-Range Weather Information," *Contemp. Econ. Policy*, vol. 13, no. 3, pp. 10–19, 1995.
- [9] D. P. Dee *et al.*, "The ERA-Interim reanalysis: Configuration and performance of the data assimilation system," *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, vol. 137, no. 656, pp. 553–597, 2011.
- [10] L. E. Back and C. S. Bretherton, "The relationship between wind speed and precipitation in the Pacific ITCZ," *J. Clim.*, vol. 18, no. 20, pp. 4317–4328, 2005.
- [11] J. Marshall and R. A. Plumb, *Atmosphere, Ocean, and Climate Dynamics*. 2008.
- [12] R. G. Barry, *Atmosphere, Weather and Climate*. Routledge, 2003.
- [13] T. Schneider, T. Bischoff, and G. H. Haug, "Migrations and dynamics of the intertropical convergence zone.," *Nature*, vol. 513, no. 7516, pp. 45–53, 2014.
- [14] P. Berrisford *et al.*, "The ERA-Interim archive Version 2.0," ECMWF, Shinfield Park, Reading, 2011.
- [15] ECMWF, "20 years of 4D-Var: better forecasts through a better use of observations," 2017. [Online]. Available: <https://www.ecmwf.int/en/about/media-centre/news/2017/20-years-4d-var-better-forecasts-through-better-use-observations>. [Accessed: 31-Aug-2020].
- [16] ECMWF, "Fact sheet: Reanalysis | ECMWF," 2015. [Online]. Available: <https://www.ecmwf.int/en/about/media-centre/focus/2020/fact-sheet-reanalysis>. [Accessed: 29-Nov-2021].

- [17] A. Bellucci, S. Gualdi, and A. Navarra, “The double-ITCZ syndrome in coupled general circulation models: The role of large-scale vertical circulation regimes,” *J. Clim.*, vol. 23, no. 5, pp. 1127–1145, 2010.
- [18] R. García-Rojo, “Algorithm for the estimation of the long-term wind climate at a meteorological mast using a joint probabilistic approach,” *Wind Eng.*, vol. 28, no. 2, pp. 213–224, 2004.
- [19] European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, “What is the direction convention for the U and V components of winds?” [Online]. Available: <https://confluence.ecmwf.int/pages/viewpage.action?pageId=111155337>. [Accessed: 30-Nov-2021].
- [20] S. Emeis, *Wind Energy Meteorology: Atmospheric Physics for Wind Power Generation*. Springer Berlin Heidelberg, 2012.
- [21] M. Hortal and A. J. Simmons, “Use of reduced Gaussian grids in spectral models,” *Mon. Weather Rev.*, vol. 119, no. 4, pp. 1057–1074, 1991.
- [22] P. Bechtold *et al.*, “Advances in simulating atmospheric variability with the ECMWF model: From synoptic to decadal time-scales,” *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, vol. 1227, no. July, p. 496, 2018.
- [23] S. Gadgil and A. Guruprasad, “An objective method to identify the ITCZ,” *J. Clim.*, vol. 3, pp. 558–567, 1989.
- [24] S. Hastenrath, “The Intertropical Convergence Zone of the Eastern Pacific revisited,” *Int. J. Climatol.*, vol. 22, no. 3, pp. 347–356, 2002.
- [25] B. Keshtgar, O. Alizadeh-Choobari, and P. Irannejad, “Seasonal and interannual variations of the intertropical convergence zone over the Indian Ocean based on an energetic perspective,” *Clim. Dyn.*, vol. 54, no. 7–8, pp. 3627–3639, 2020.
- [26] T. Bischoff and T. Schneider, “The equatorial energy balance, ITCZ position, and double-ITCZ bifurcations,” *J. Clim.*, vol. 29, no. 8, pp. 2997–3013, 2016.
- [27] O. Adam, T. Bischoff, and T. Schneider, “Seasonal and interannual variations of the energy flux equator and ITCZ. Part I: Zonally averaged ITCZ position,” *J. Clim.*, vol. 29, no. 9, pp. 3219–3230, 2016.
- [28] D. Samanta, K. B. Karnauskas, and N. F. Goodkin, “Tropical Pacific SST and ITCZ Biases in Climate Models: Double Trouble for Future Rainfall Projections?” *Geophys. Res. Lett.*, vol. 46, no. 4, pp. 2242–2252, Feb. 2019.
- [29] A. Mamalakis *et al.*, “Zonally opposing shifts of the intertropical convergence zone in response to climate change,” *Nat. Clim. Chang.*, pp. 1–45, 2020.
- [30] K. E. Colna, *Latitudinal position and trends of the intertropical convergence zone (ITCZ) and its relationship with upwelling in the southern Caribbean Sea and global climate indices*. University of South Florida, 2017.
- [31] H. Xu, Y. Song, Y. Goldsmith, and Y. Lang, “Meridional ITCZ shifts modulate tropical/subtropical Asian monsoon rainfall,” *Sci. Bull.*, vol. 64, no. 23, pp. 1737–1739, 2019.

- [32] H. Zhang, X. Ma, S. Zhao, and L. Kong, "Advances in Research on the ITCZ: Mean Position, Model Bias, and Anthropogenic Aerosol Influences," *J. Meteorol. Res.*, vol. 35, no. 5, pp. 729–742, 2021.
- [33] M. P. Byrne, A. G. Pendergrass, A. D. Rapp, and K. R. Wodzicki, "Response of the Intertropical Convergence Zone to Climate Change: Location, Width, and Strength," *Curr. Clim. Chang. Reports*, vol. 4, no. 4, pp. 355–370, 2018.
- [34] G. Leduc, L. Vidal, K. Tachikawa, and E. Bard, "ITCZ rather than ENSO signature for abrupt climate changes across the tropical Pacific?," *Quat. Res.*, vol. 72, no. 1, pp. 123–131, 2009.
- [35] W. L. Martinez and A. R. Martinez, *Exploratory data analysis with MATLAB*. 2004.
- [36] D. J. I. I. Gagne, "Coupling data science techniques and numerical weather prediction models for high-impact weather prediction," 2016.
- [37] S. G. H. Philander *et al.*, "Why the ITCZ is mostly north of the equator," *Journal of Climate*, vol. 9, no. 12, pp. 2958–2972, 1996.
- [38] S. Shalev-Shwartz and S. Ben-David, *Understanding Machine Learning: From Theory to Algorithms*. Cambridge: Cambridge University Press, 2014.
- [39] P. Sharma, "K Means Clustering Simplified in Python | K Means Algorithm," 2021. [Online]. Available: <https://www.analyticsvidhya.com/blog/2021/04/k-means-clustering-simplified-in-python/>. [Accessed: 01-Dec-2021].
- [40] D. T. Pham, S. S. Dimov, and C. D. Nguyen, "Selection of K in K-means clustering," *Proc. Inst. Mech. Eng. Part C J. Mech. Eng. Sci.*, vol. 219, no. 1, pp. 103–119, 2005.
- [41] H. Xu, S. P. Xie, Y. Wang, and R. J. Small, "Effects of Central American Mountains on the Eastern Pacific Winter ITCZ and moisture transport," *J. Clim.*, vol. 18, no. 18, pp. 3856–3873, 2005.
- [42] D. G. Vincent, "The South Pacific Convergence Zone (SPCZ): A Review," *Mon. Weather Rev.*, vol. 122, no. 9, pp. 1949–1970, 1994.
- [43] M. Münnich and J. D. Neelin, "Seasonal influence of ENSO on the Atlantic ITCZ and equatorial South America," *Geophys. Res. Lett.*, vol. 32, no. 21, pp. 1–4, 2005.
- [44] Y.-G. Ham and J.-S. Kug, "Effects of Pacific Intertropical Convergence Zone precipitation bias on ENSO phase transition," *Environ. Res. Lett.*, vol. 9, no. 6, p. 64008, 2014.
- [45] Y. Hu, D. Li, and J. Liu, "Abrupt seasonal variation of the ITCZ and the Hadley circulation," *Geophys. Res. Lett.*, vol. 34, no. 18, Sep. 2007.
- [46] J. Sulca, K. Takahashi, J.-C. Espinoza, M. Vuille, and W. Lavado-Casimiro, "Impacts of different ENSO flavors and tropical Pacific convection variability (ITCZ, SPCZ) on austral summer rainfall in South America, with a focus on Peru," *Int. J. Climatol.*, vol. 38, no. 1, pp. 420–435, Jan. 2018.
- [47] H. Lashkari, Z. Mohammadi, and G. Keikhosravi, "Annual Fluctuations and

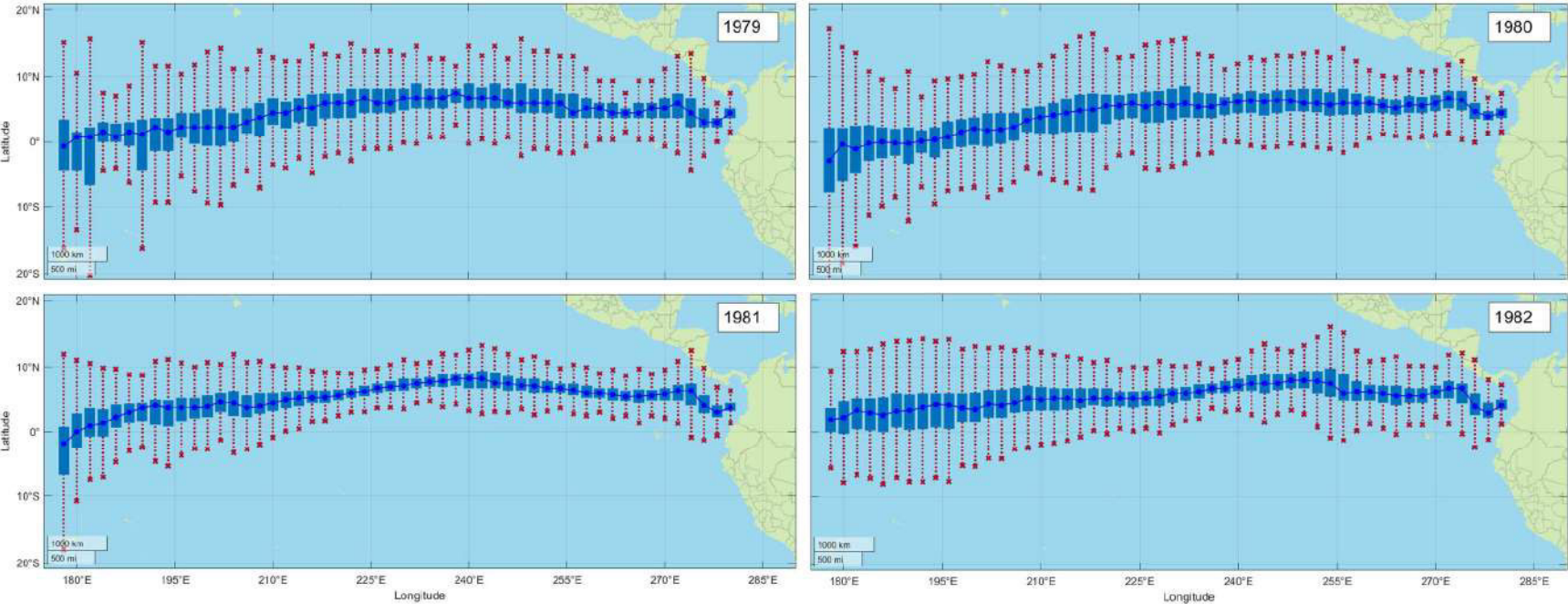
Displacements of Inter Tropical Convergence Zone (ITCZ) within the Range of Atlantic Ocean-India," *Open J. Ecol.*, vol. 07, no. 01, pp. 12–33, 2017.

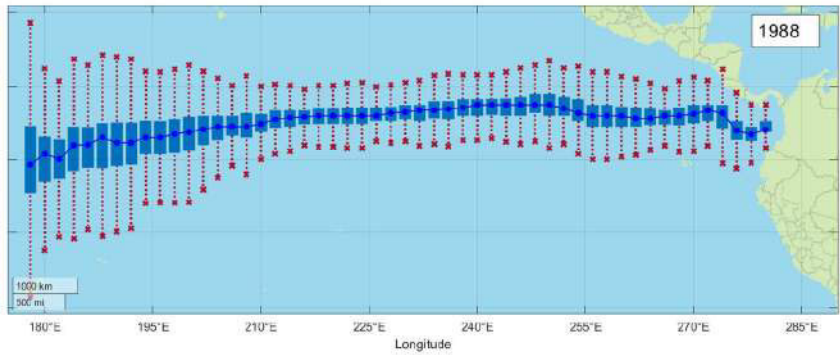
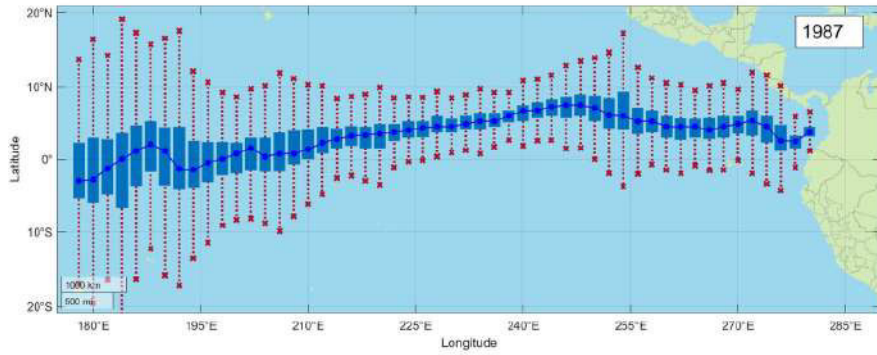
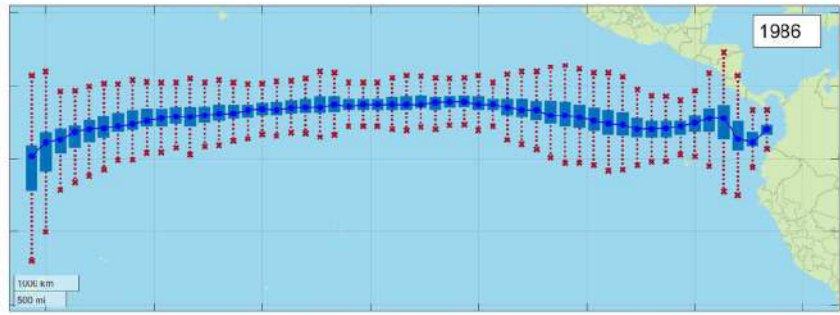
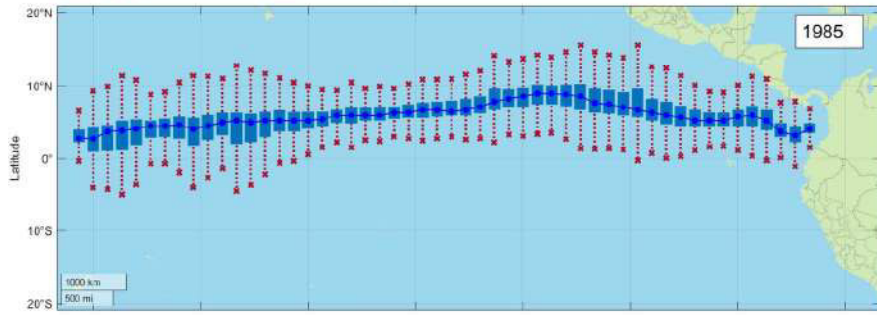
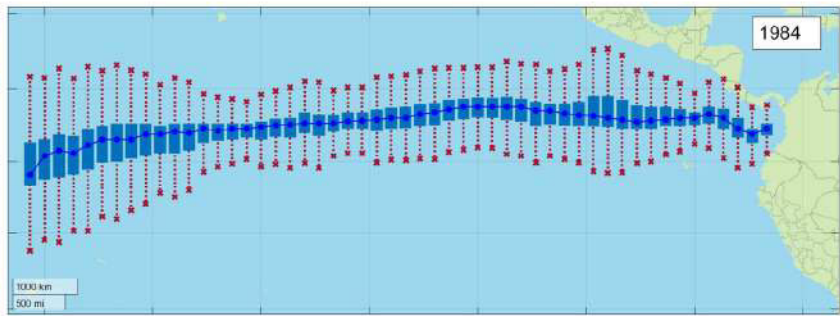
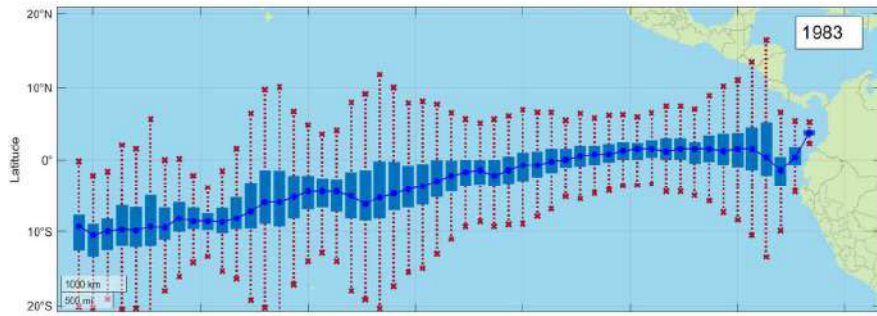
- [48] C. A. Greene *et al.*, "The Climate Data Toolbox for MATLAB," *Geochemistry, Geophys. Geosystems*, vol. 20, no. 7, pp. 3774–3781, Jul. 2019.

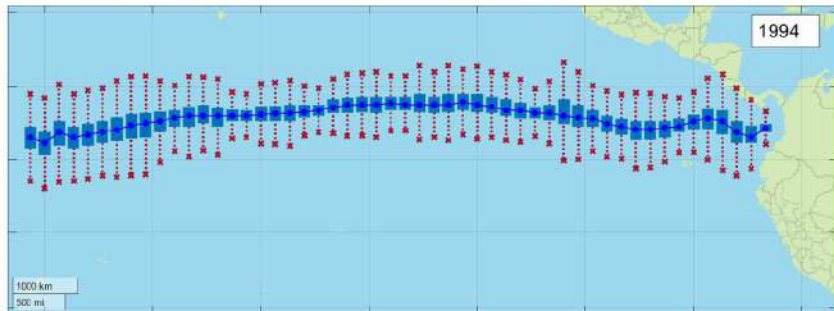
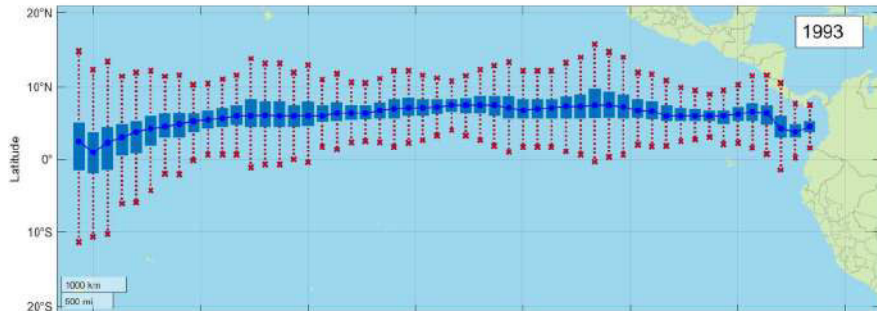
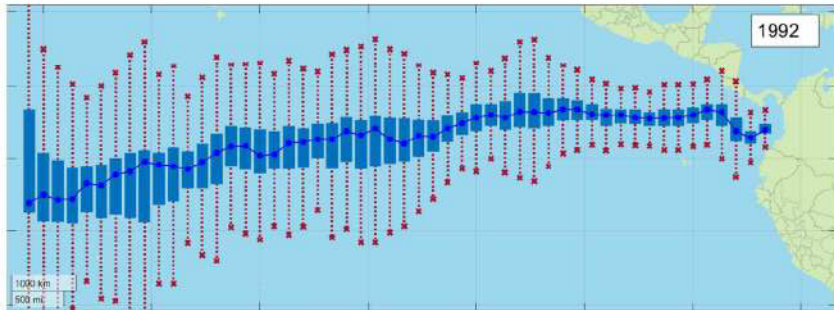
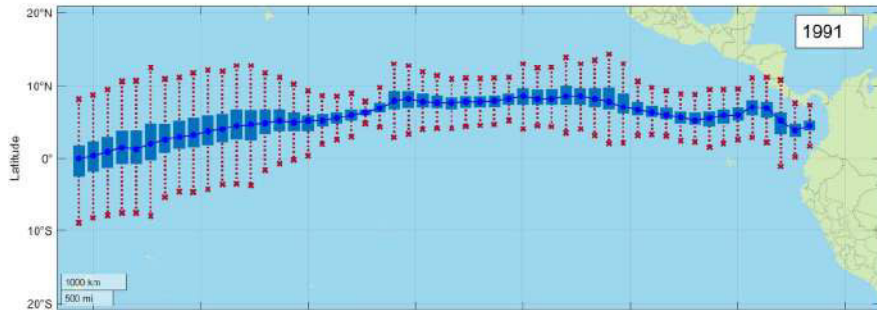
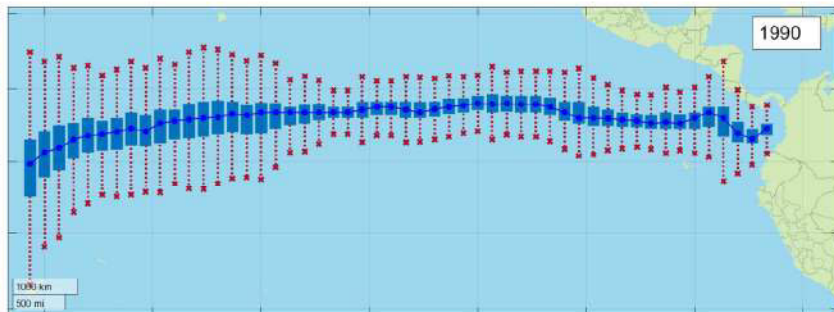
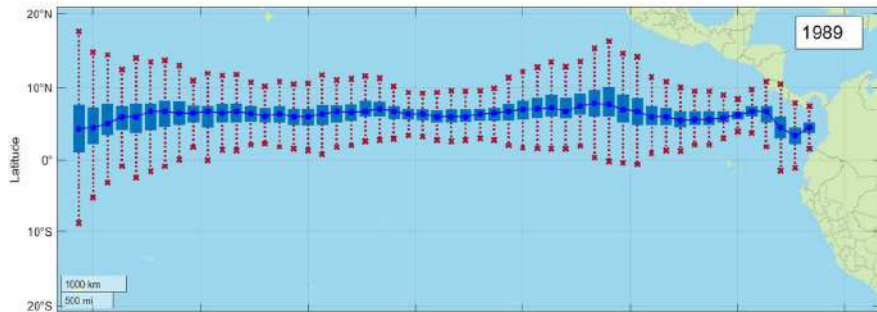
ANEXO I. DISTRIBUCIÓN ESTADÍSTICA DE LA UBICACIÓN DE LA ITCZ EN EL PACÍFICO ESTE

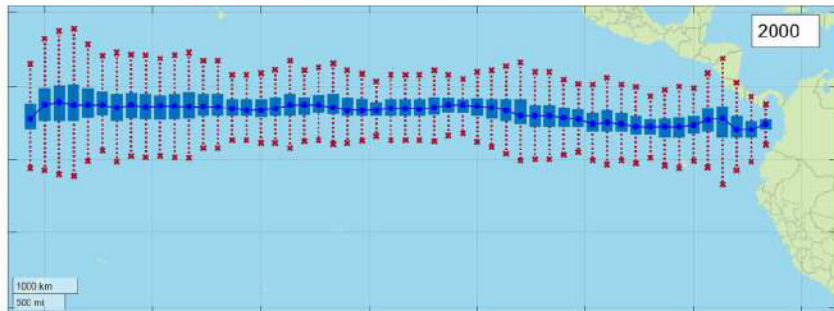
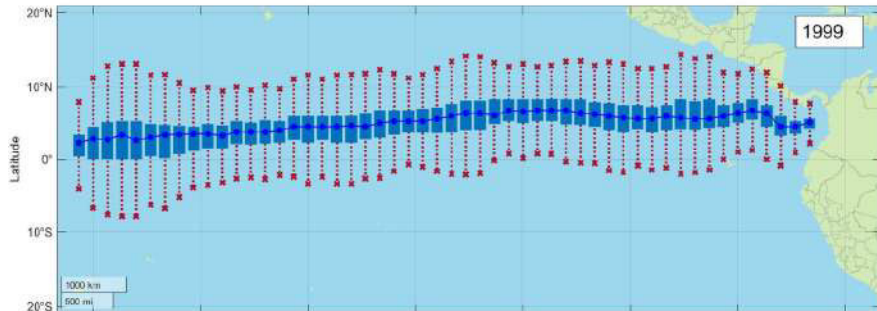
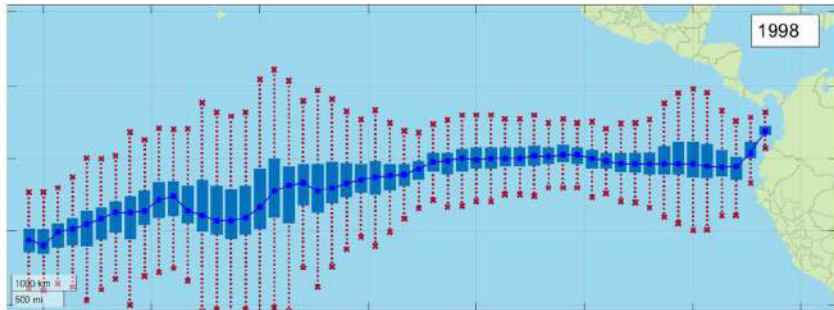
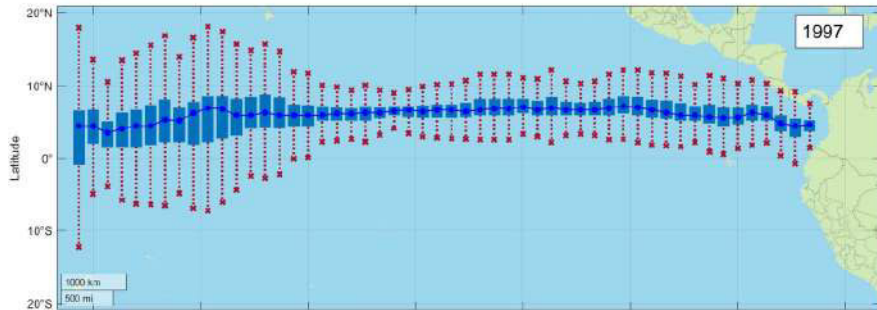
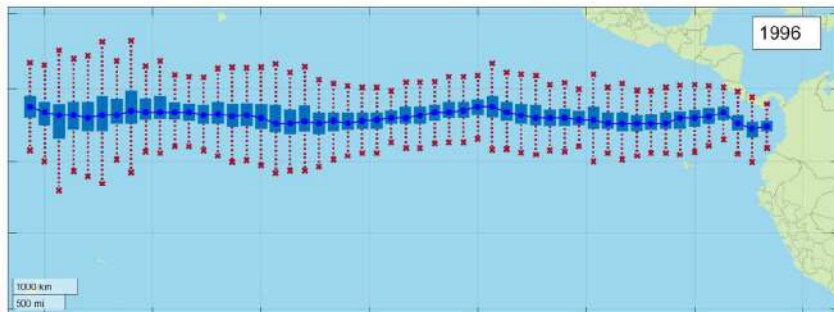
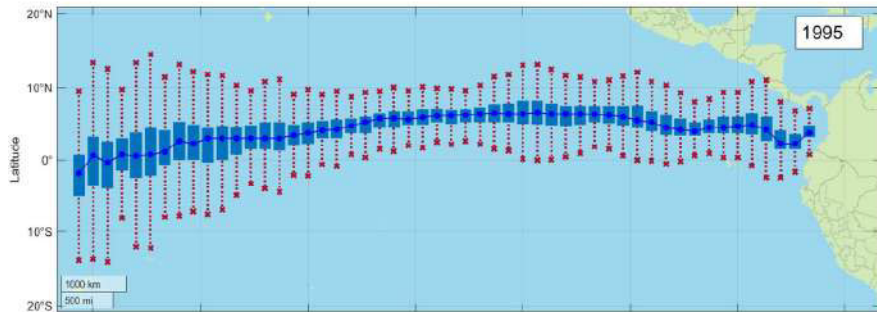
En esta sección se presentan distribuciones mensuales de la ubicación de la ITCZ, en el pacífico este, para cada año disponible en la base de datos de ERA Interim.

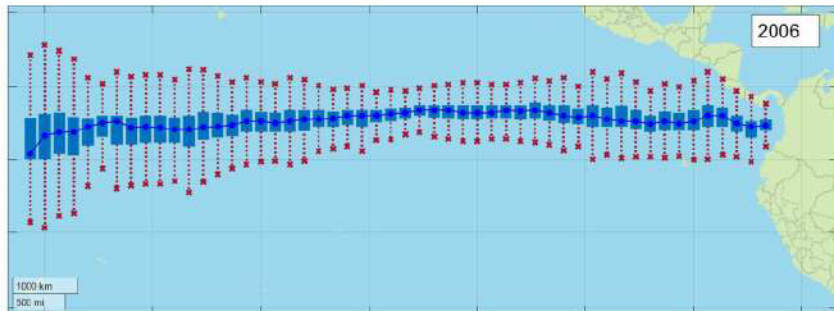
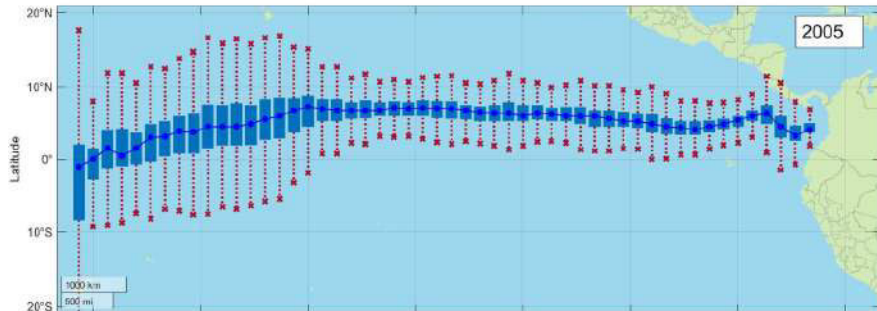
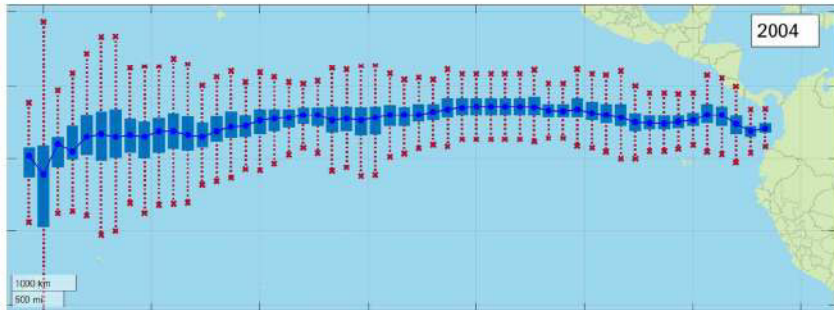
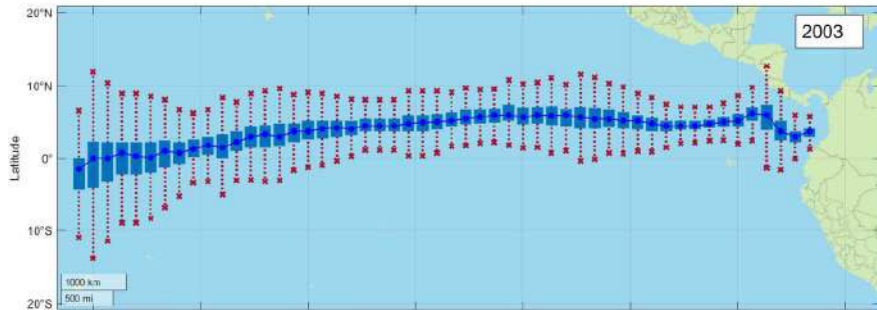
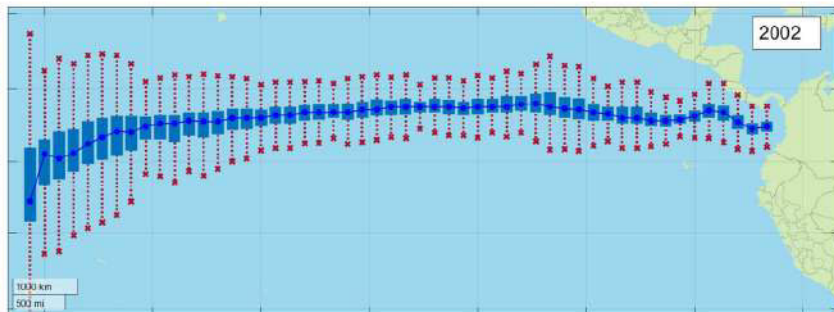
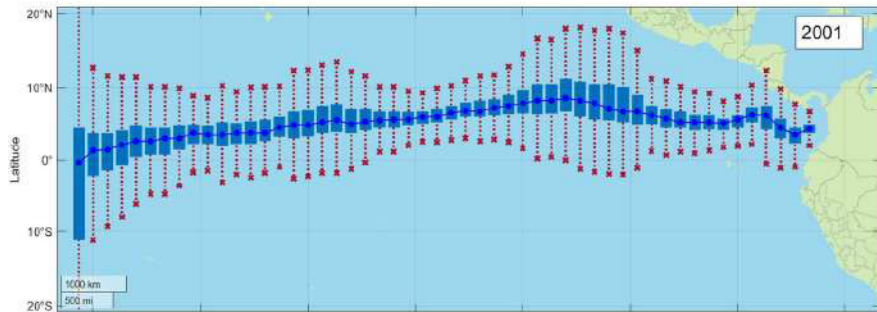
ENERO:

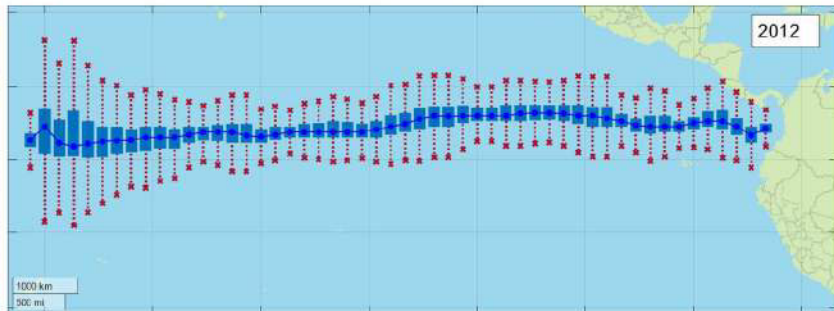
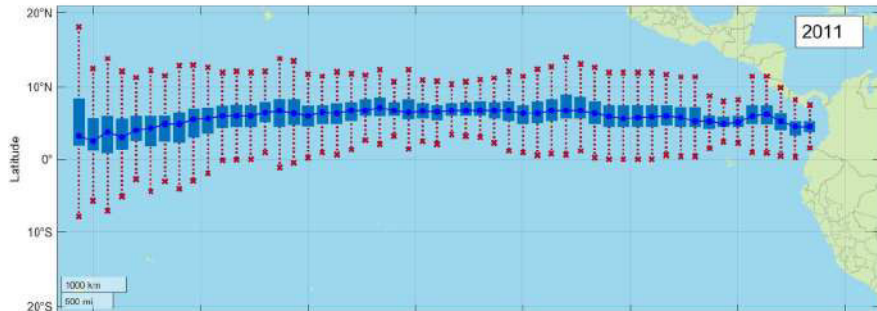
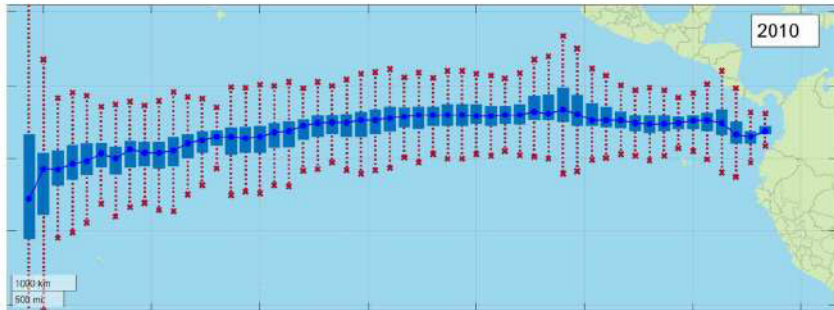
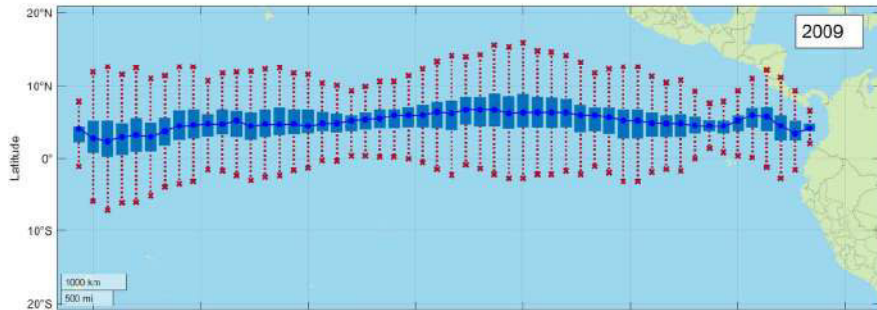
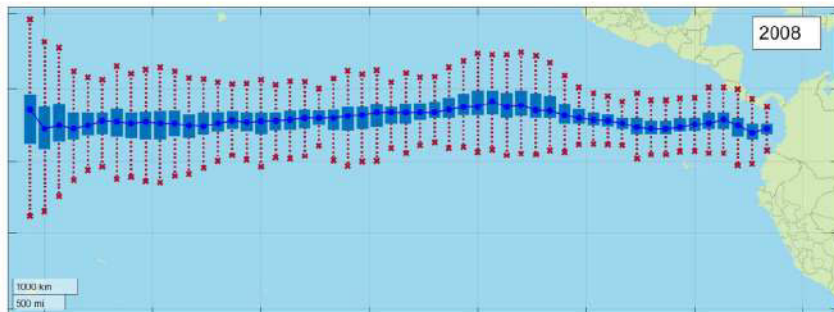
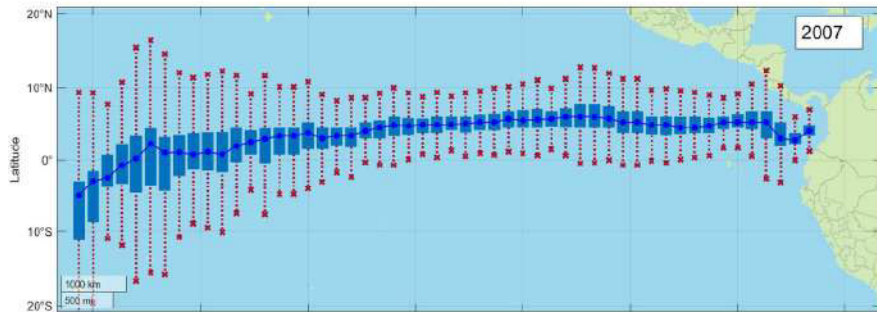


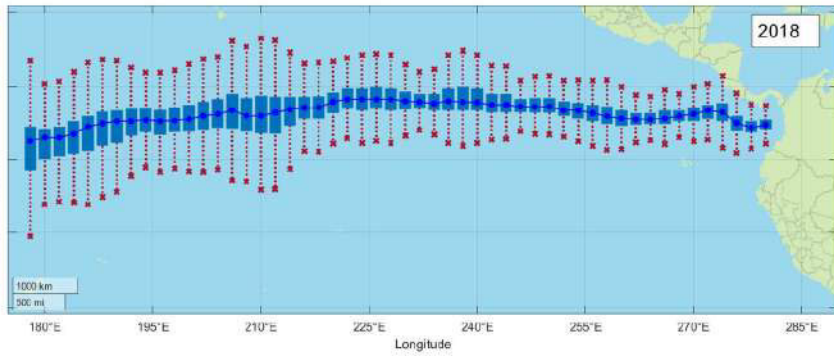
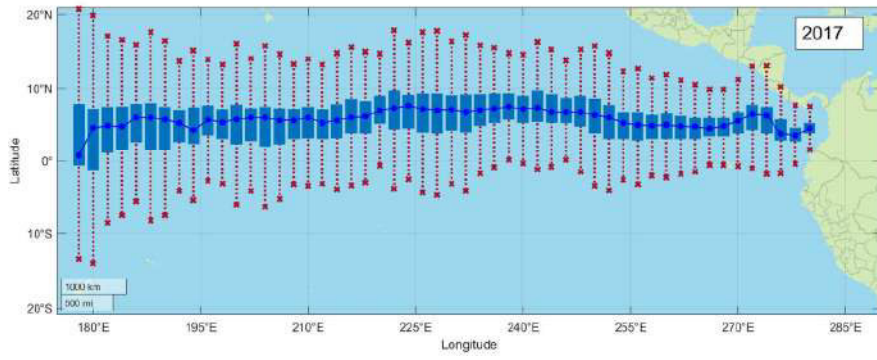
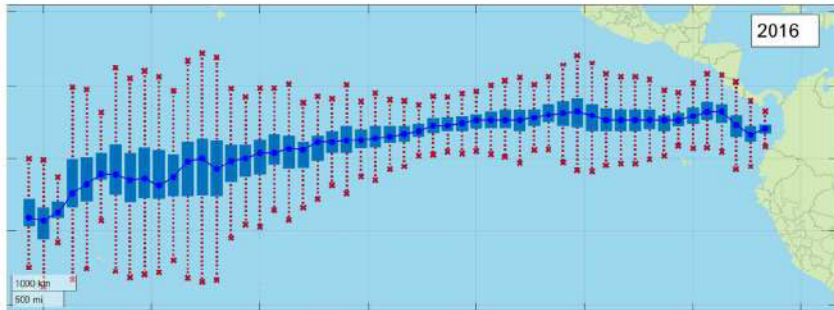
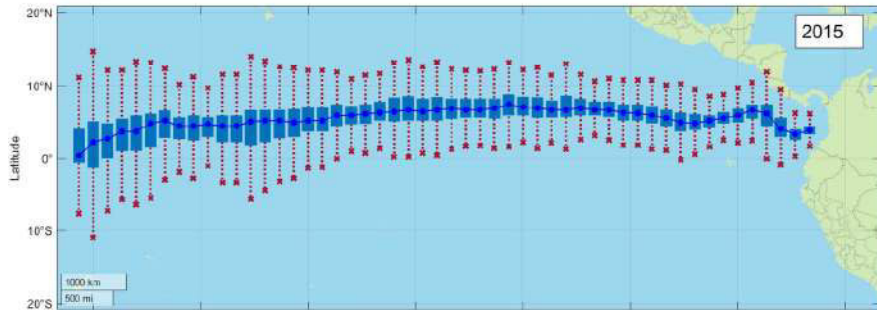
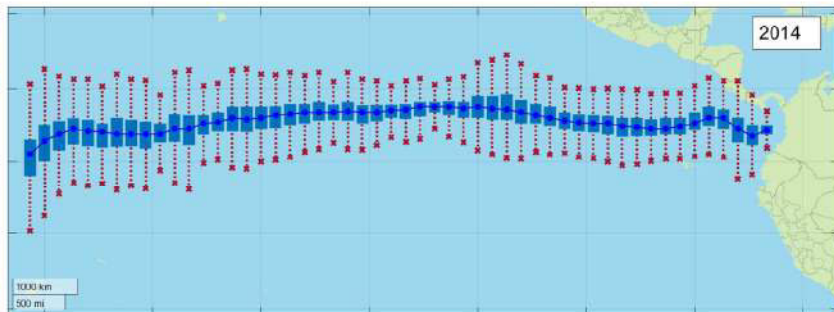
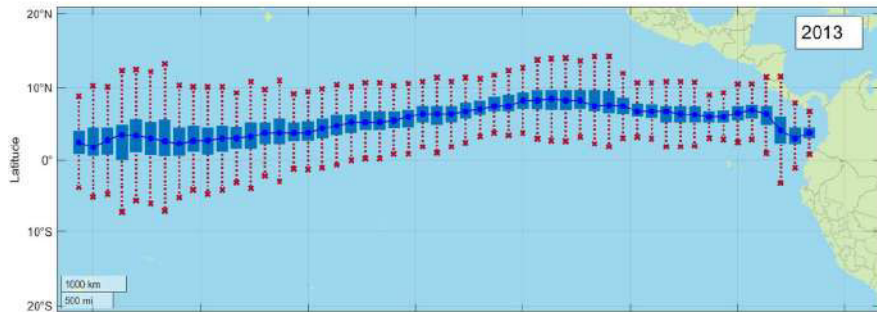


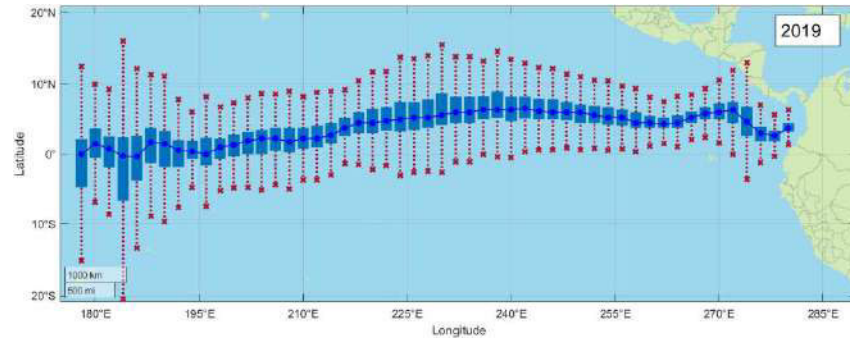




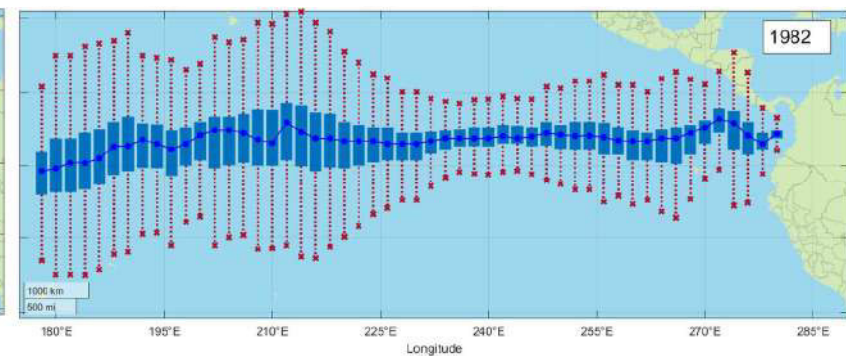
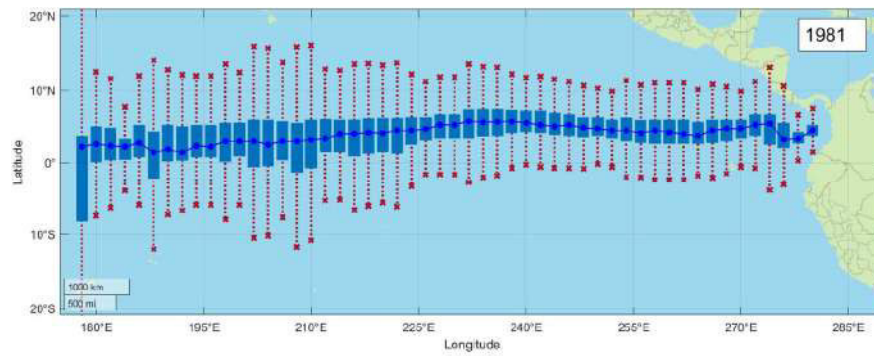
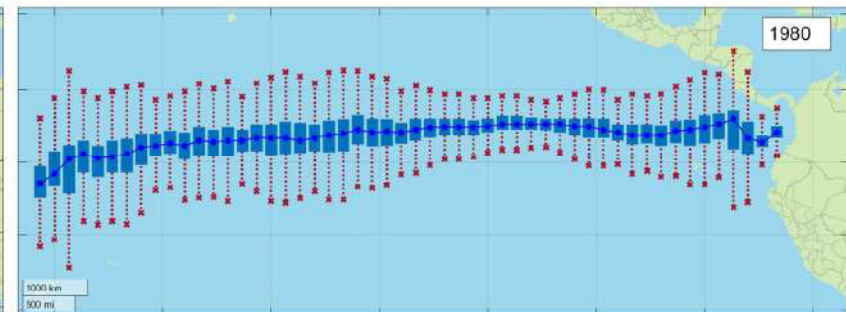
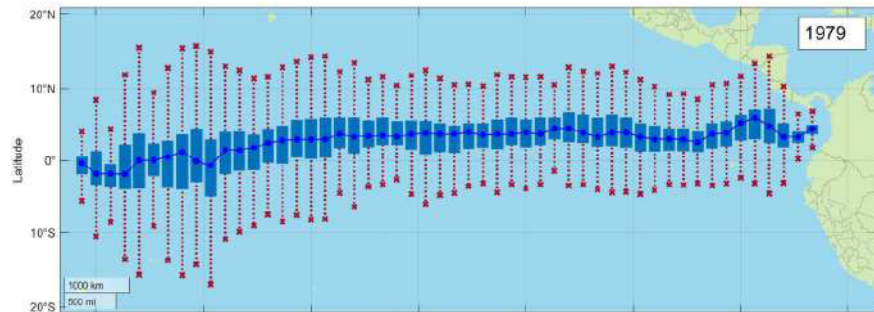


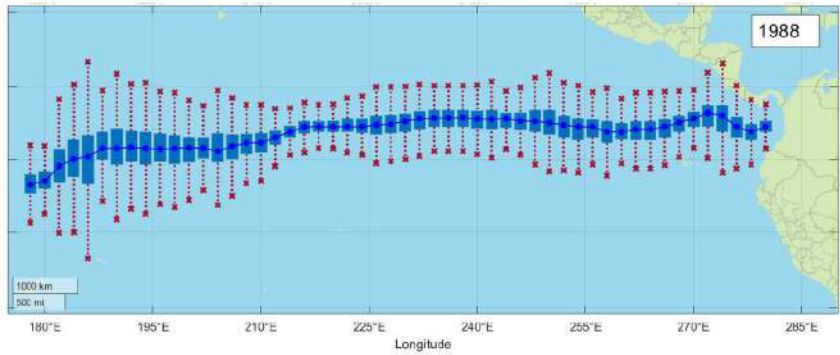
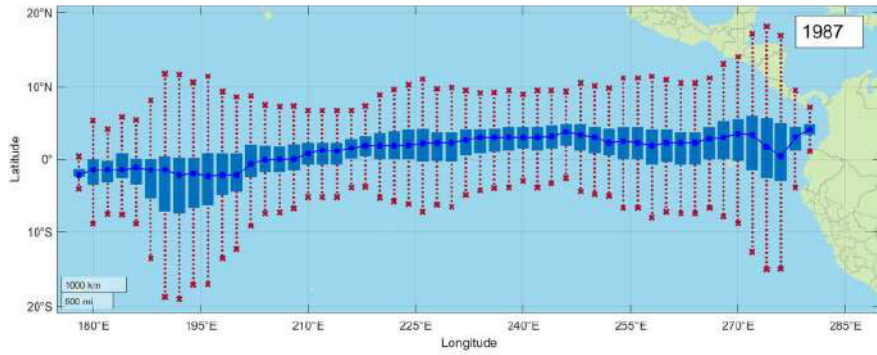
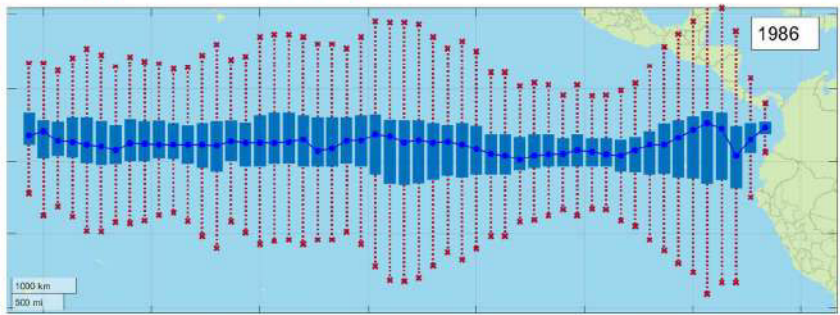
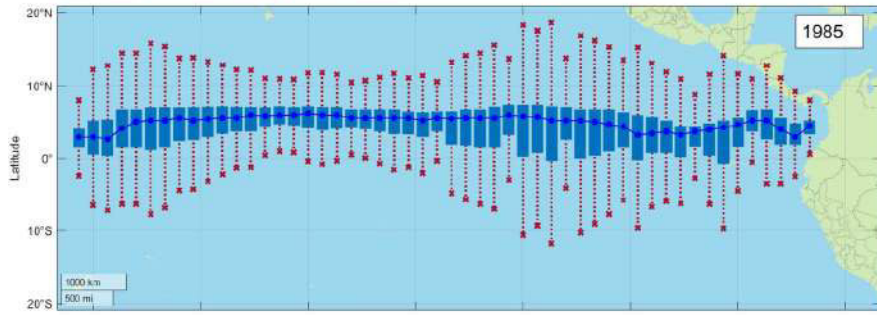
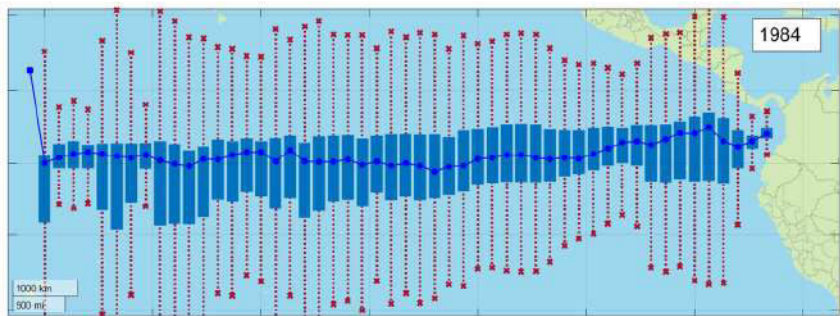
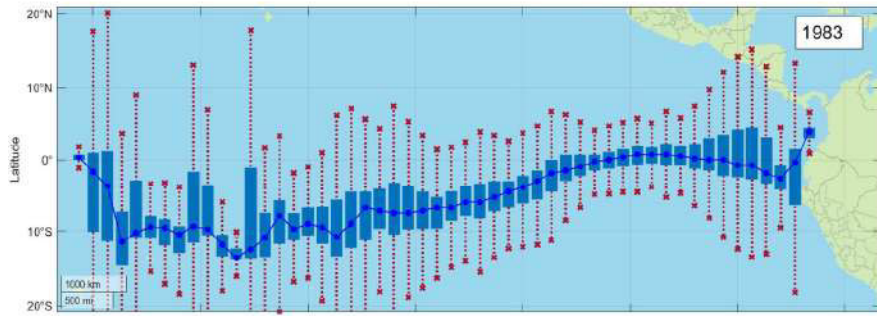


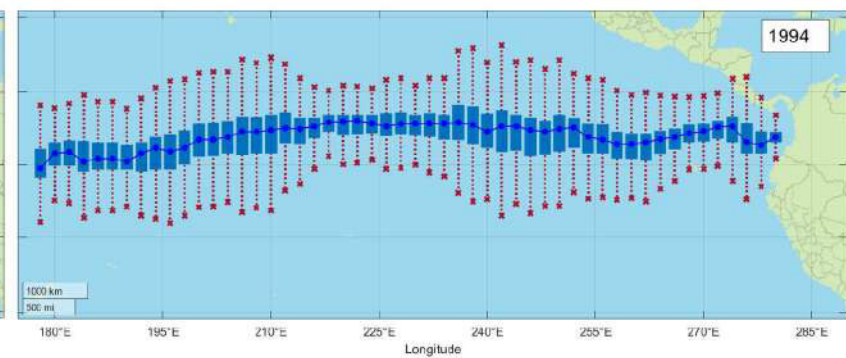
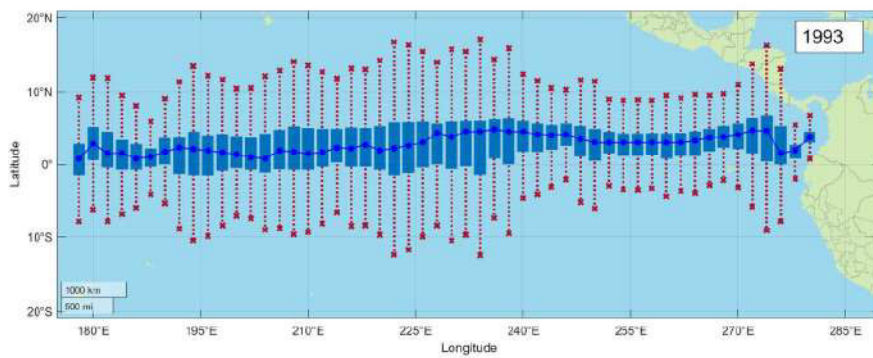
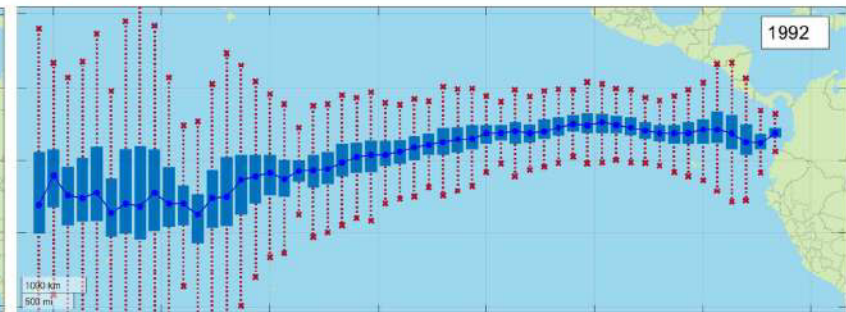
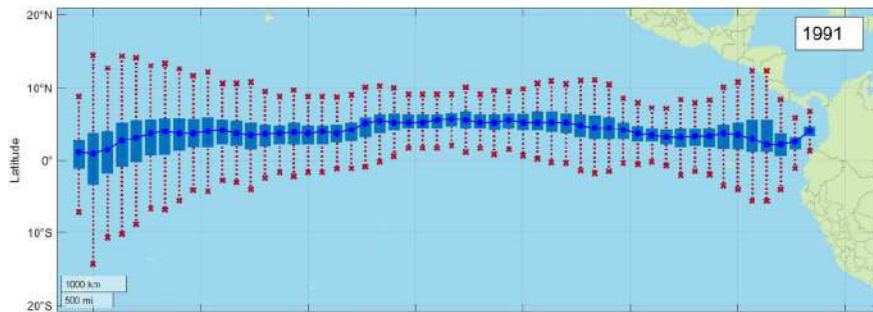
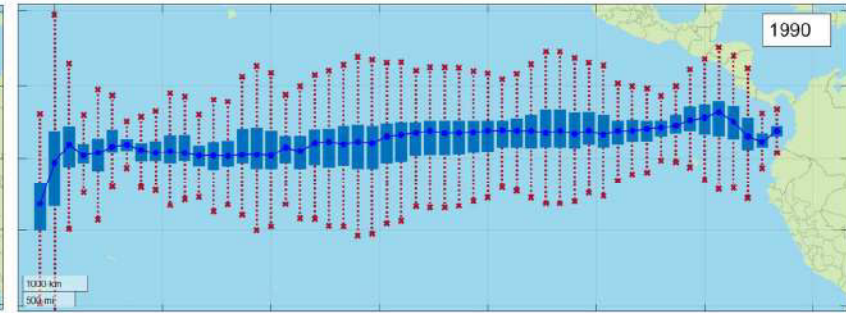
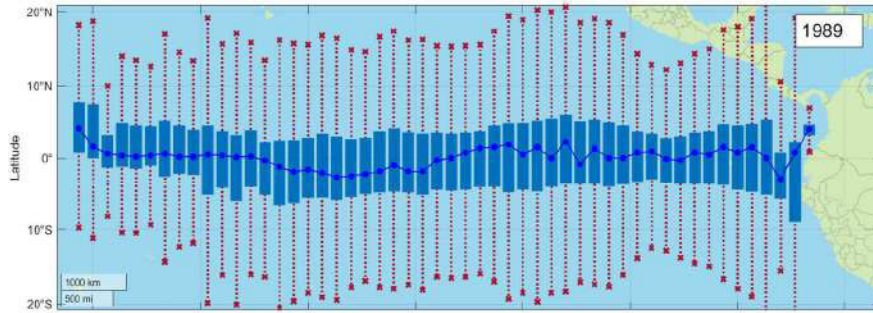


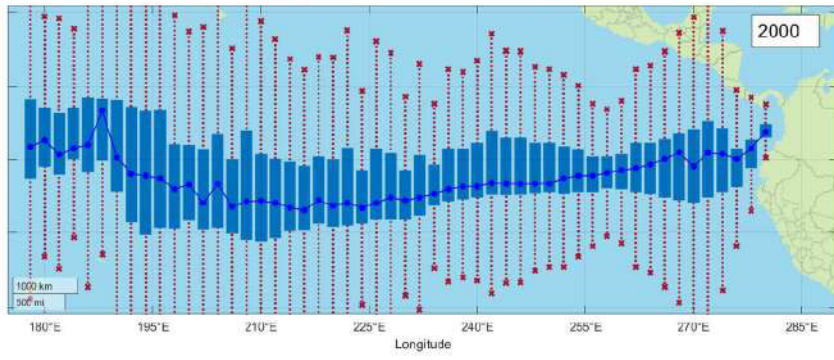
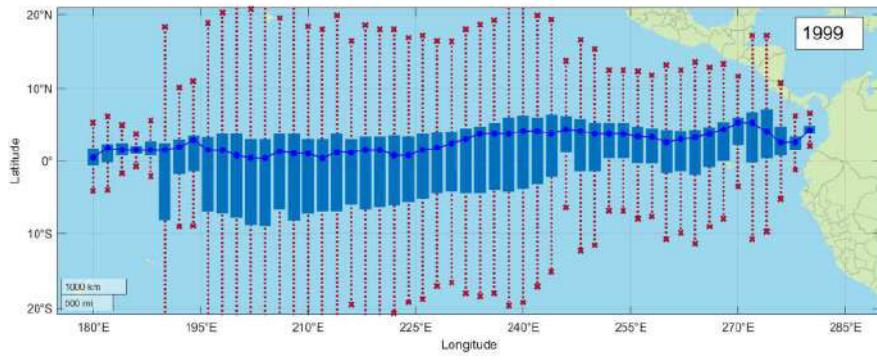
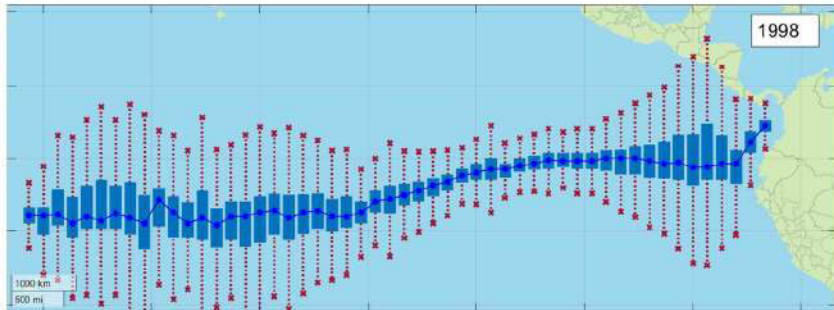
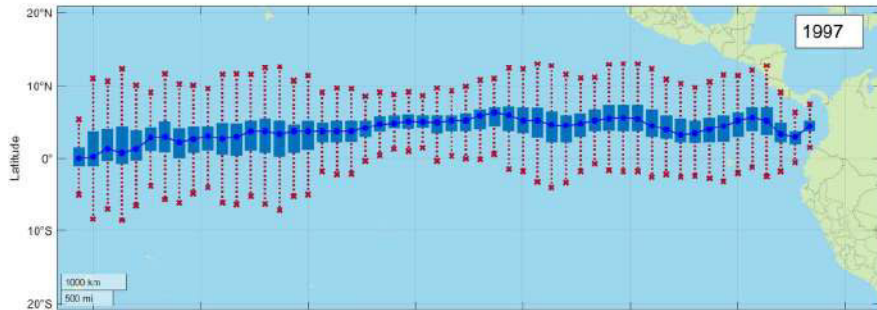
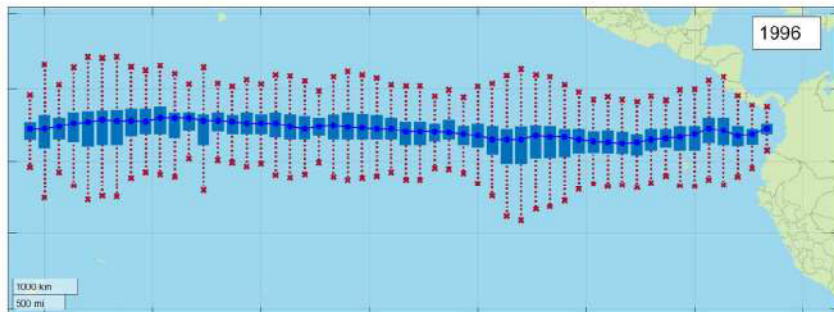
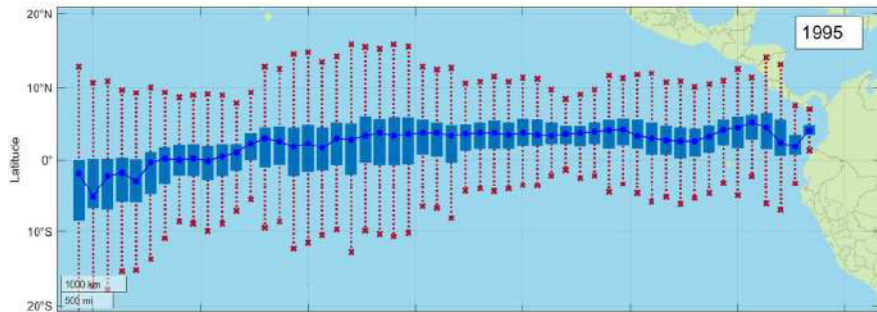


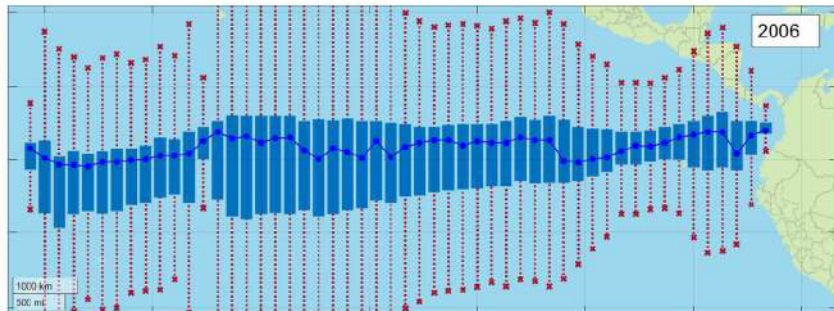
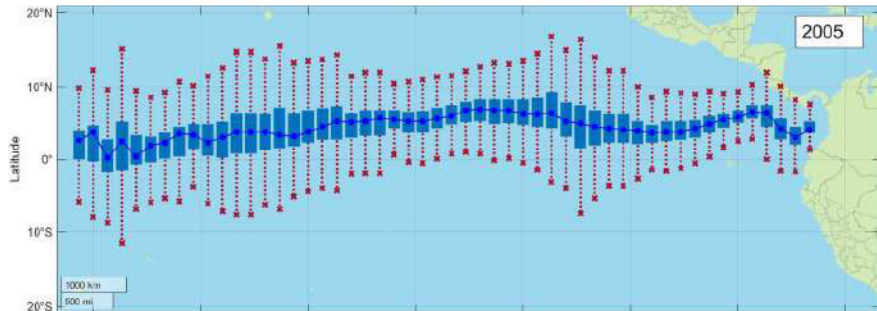
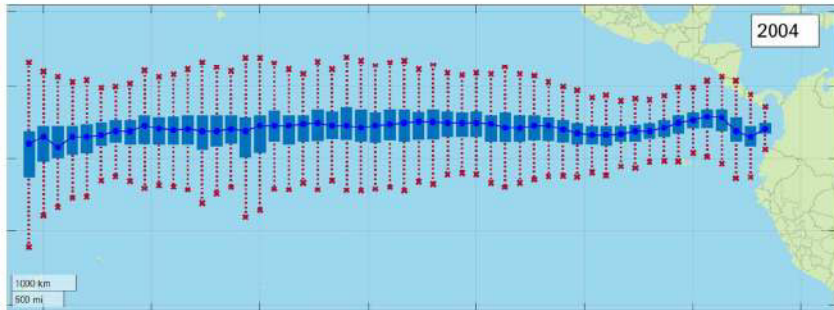
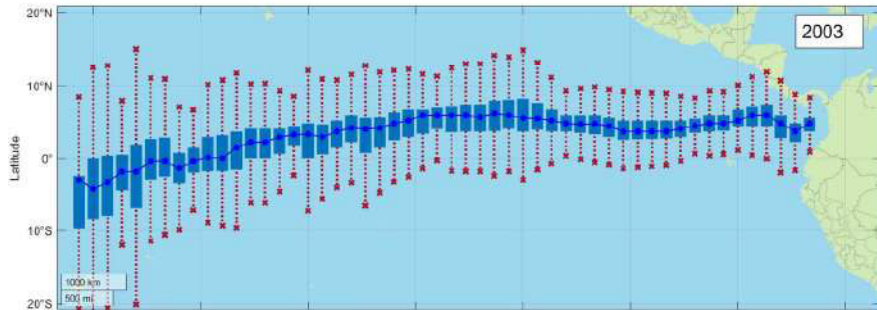
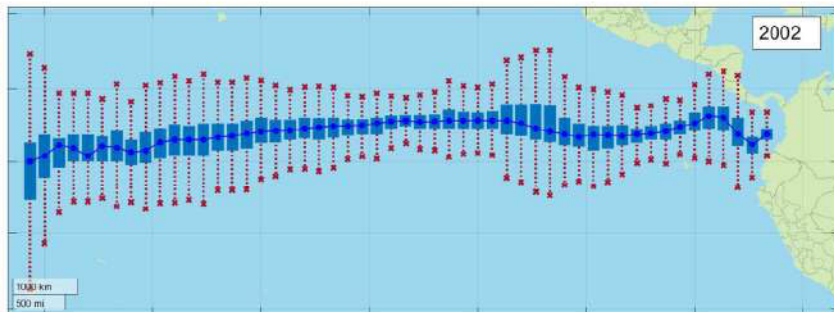
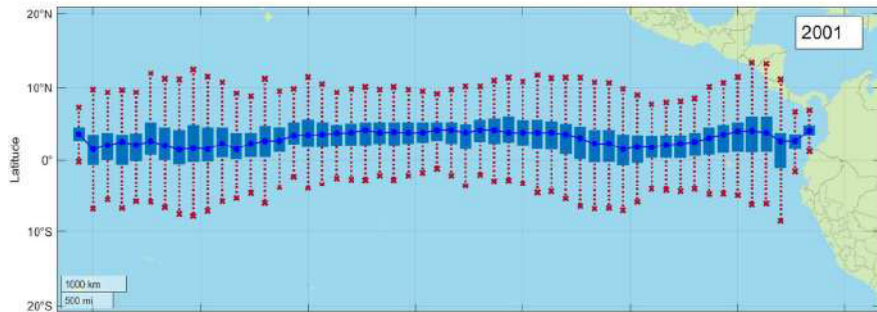
FEBRERO:

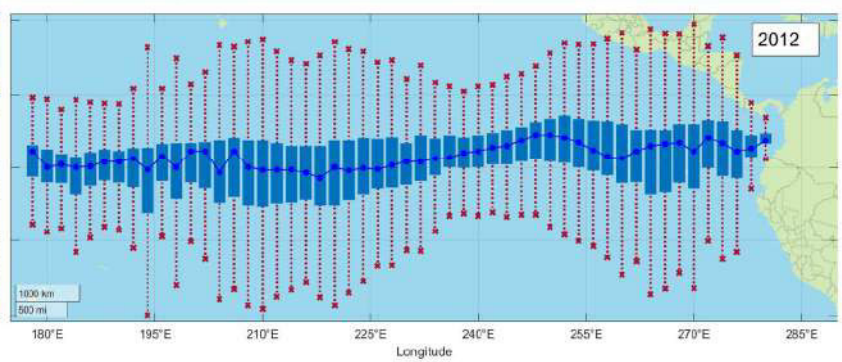
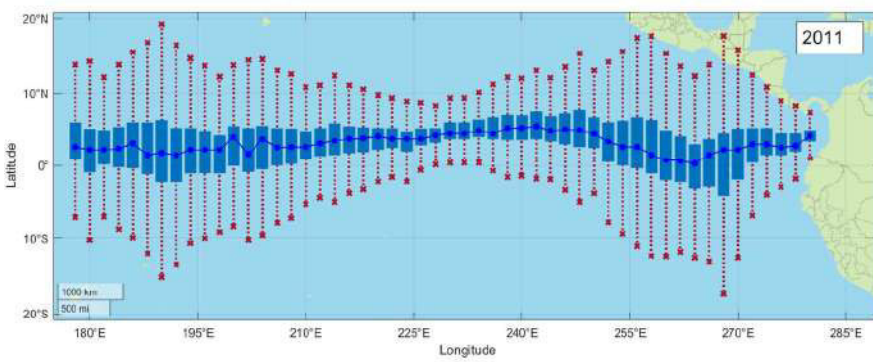
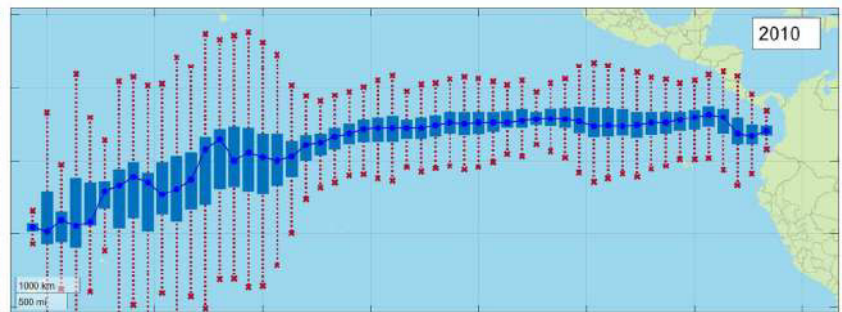
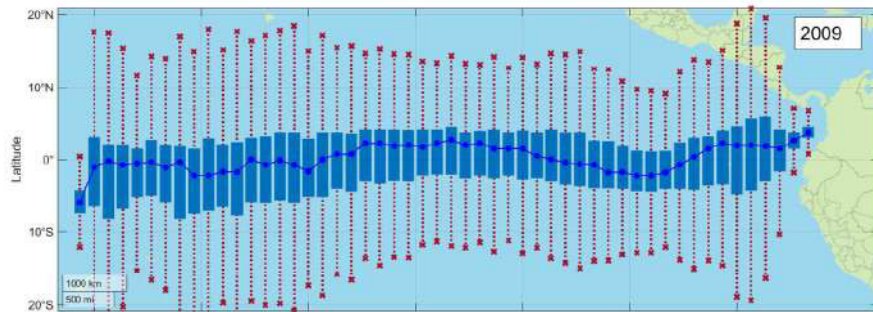
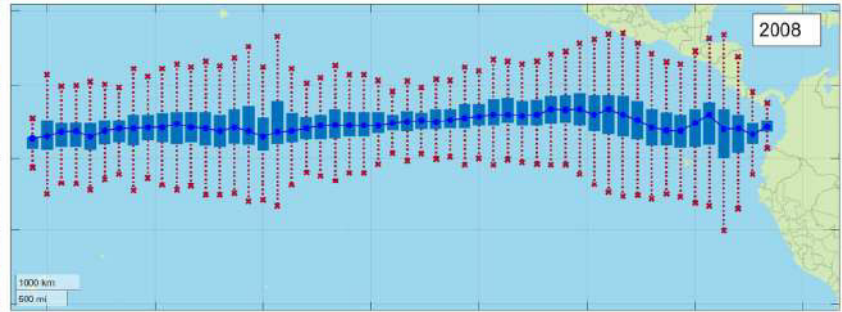
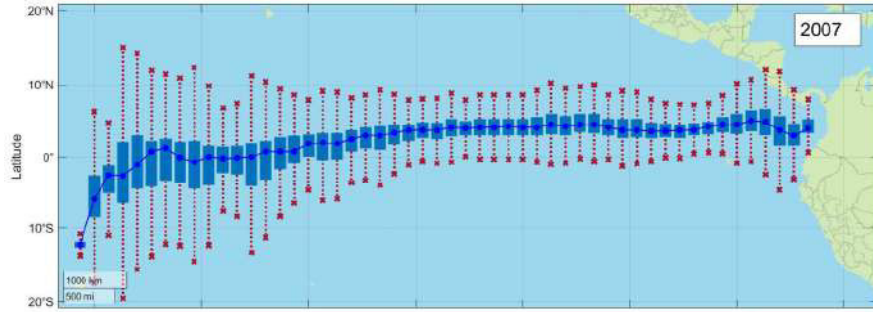


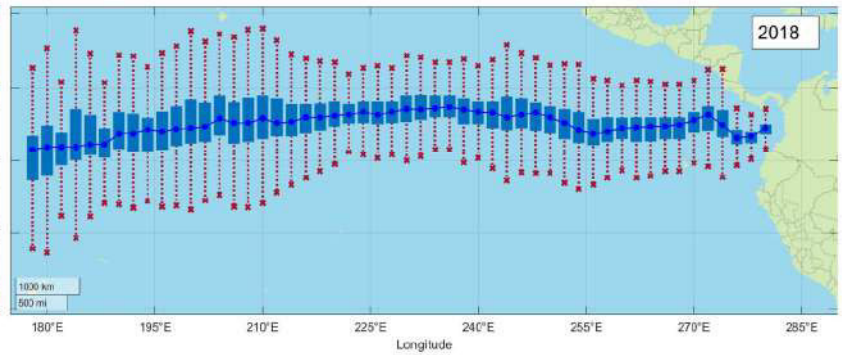
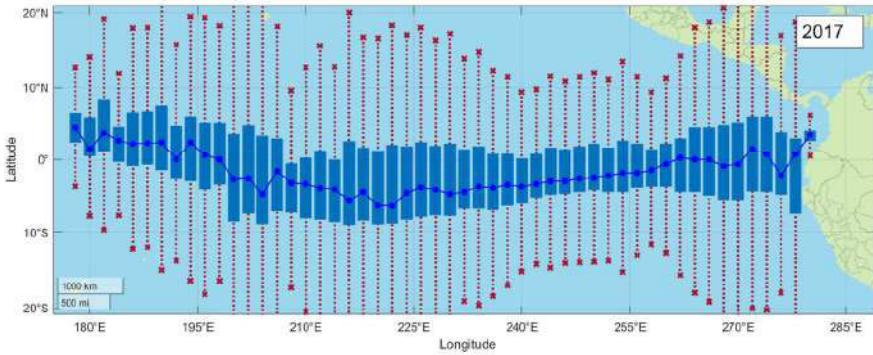
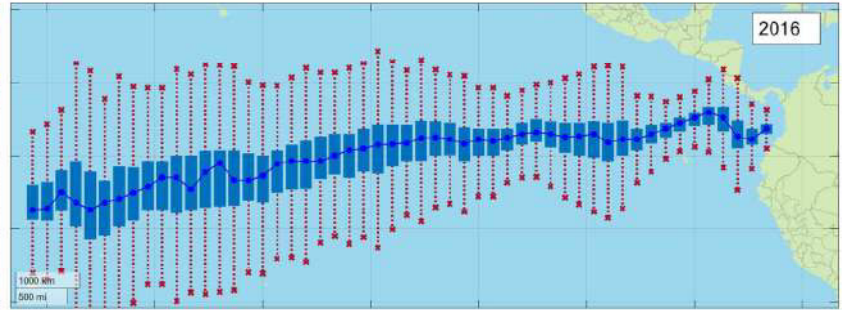
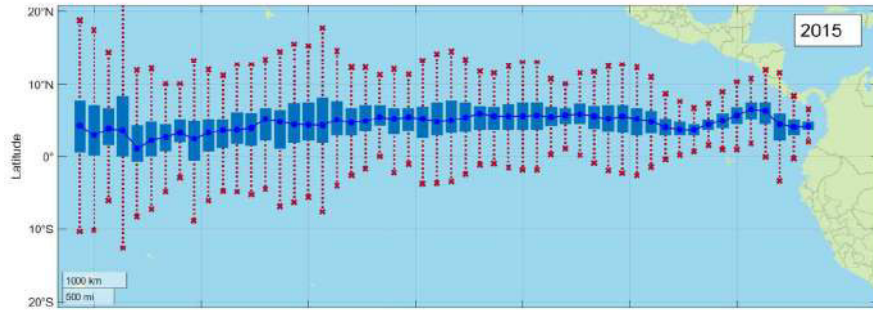
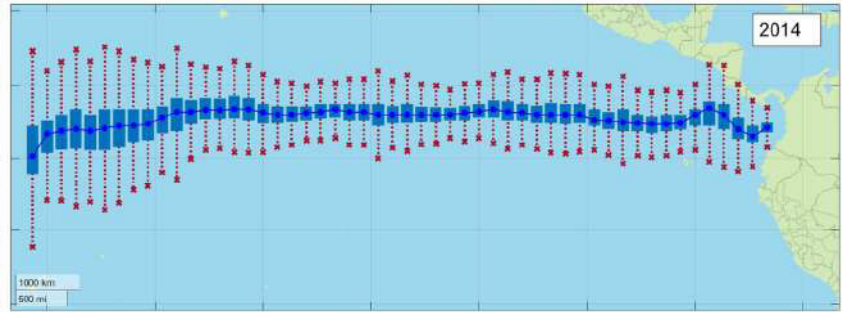
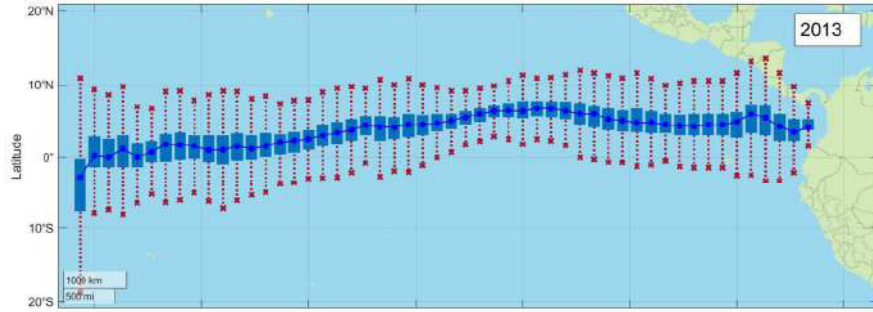


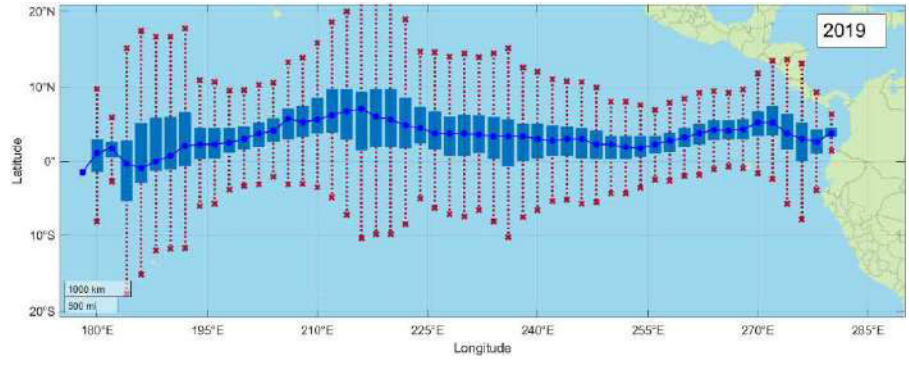




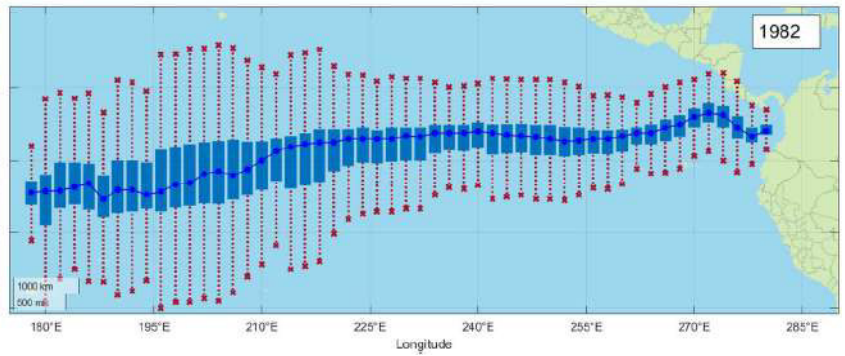
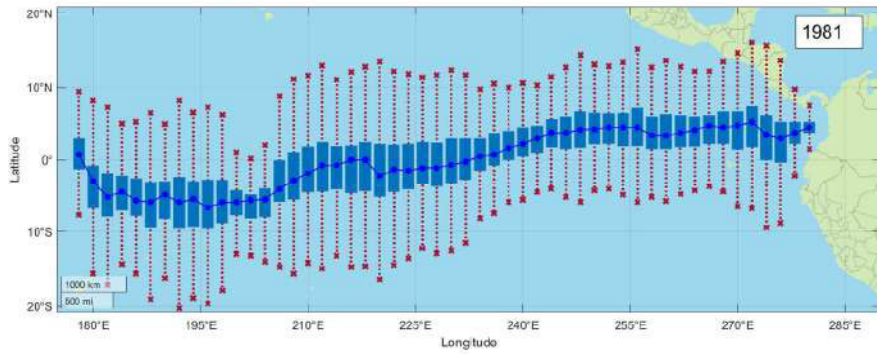
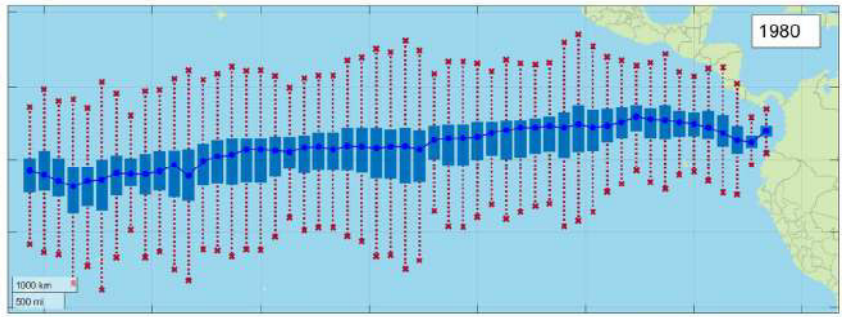
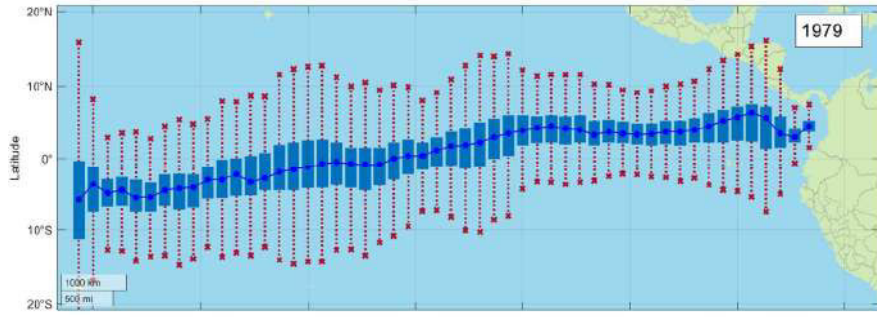


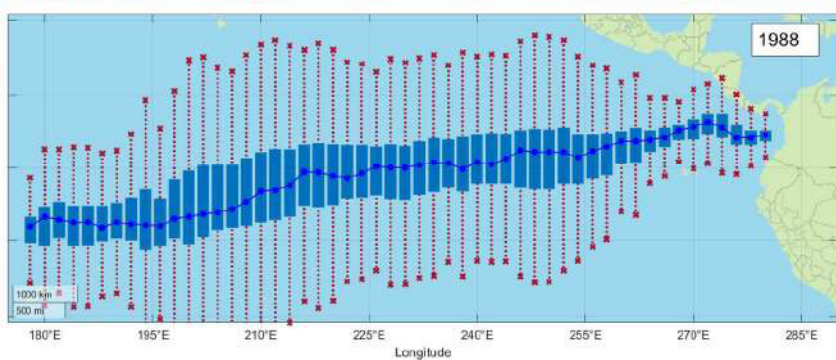
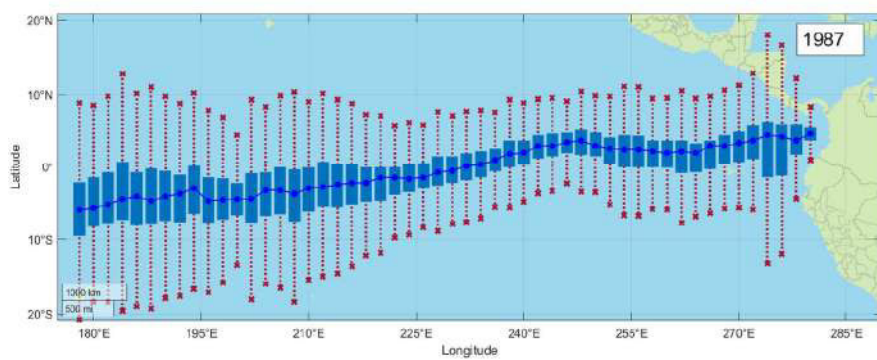
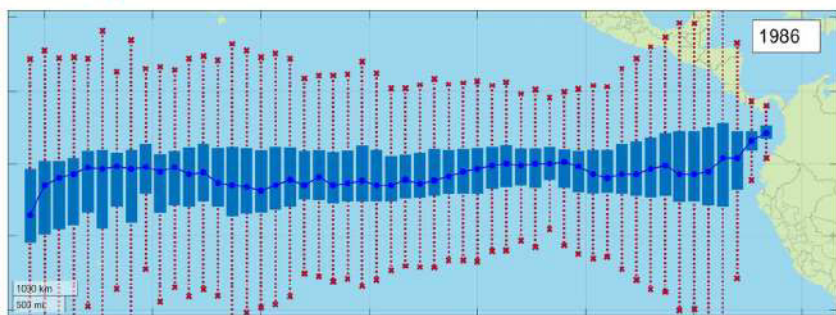
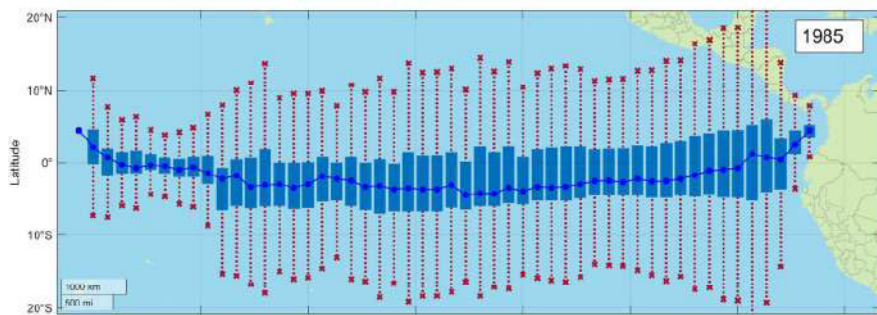
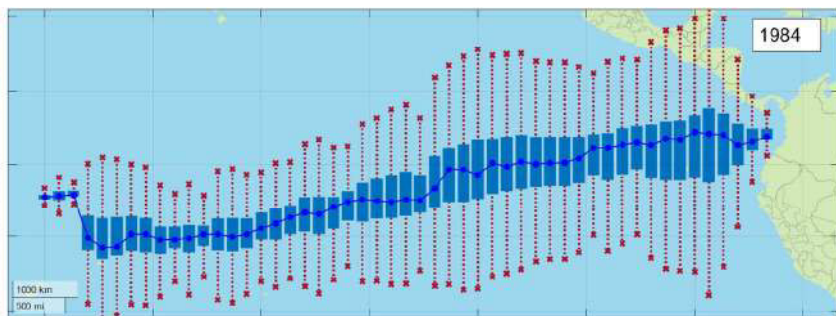
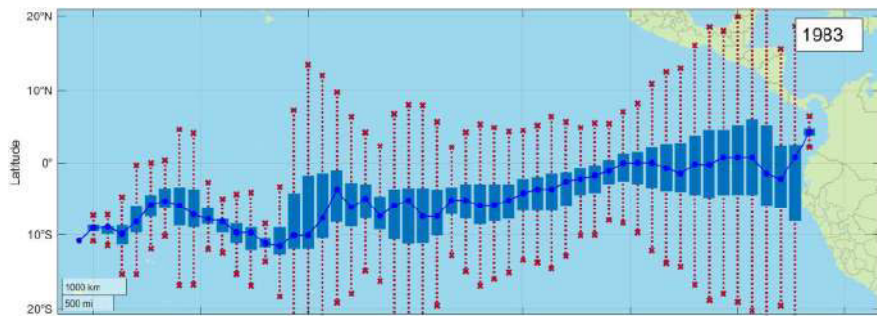


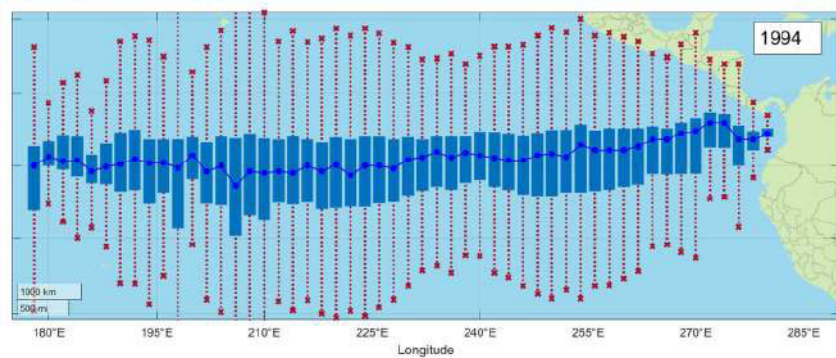
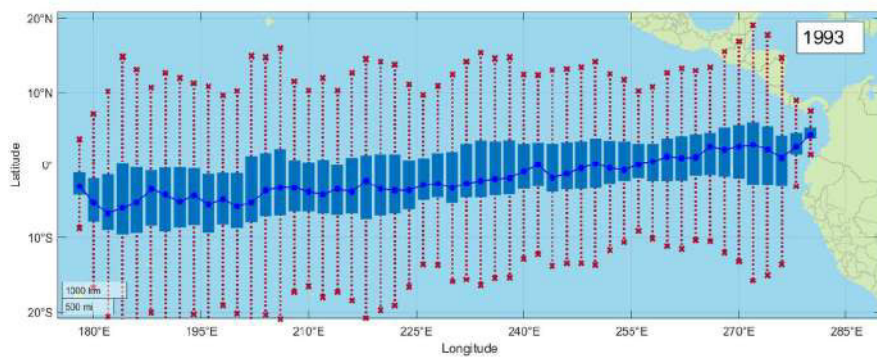
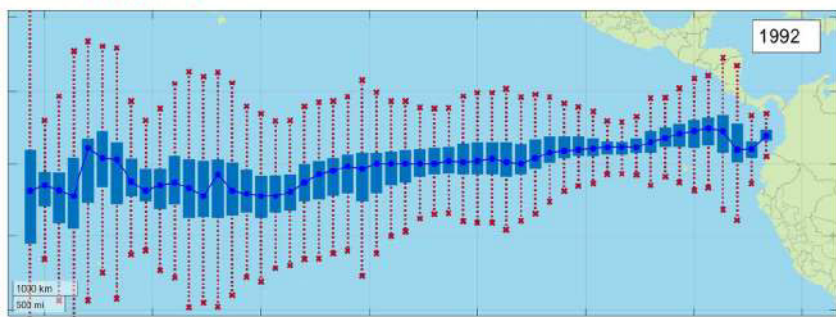
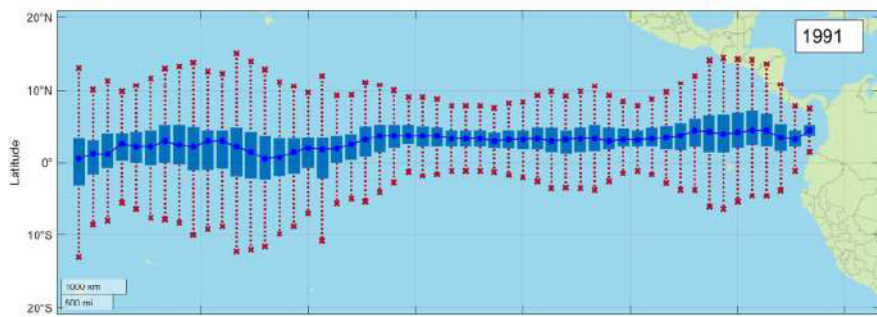
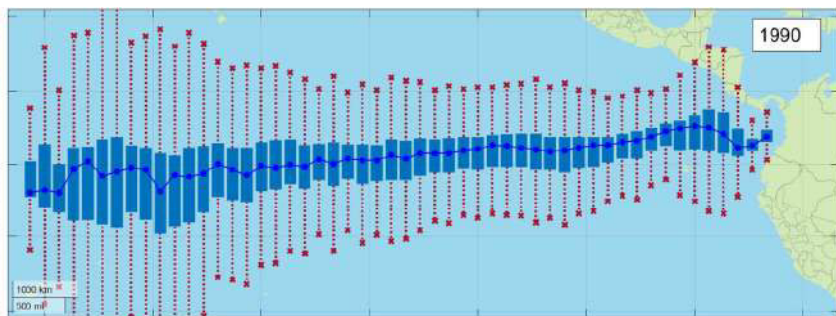
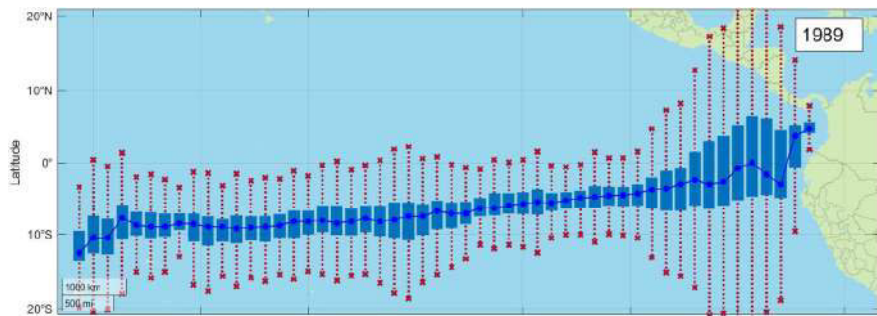


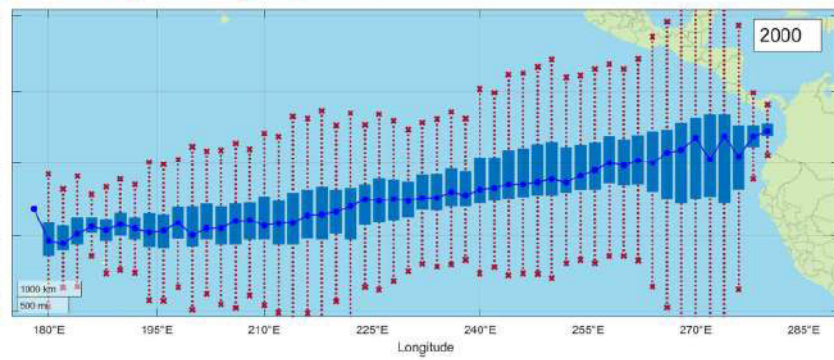
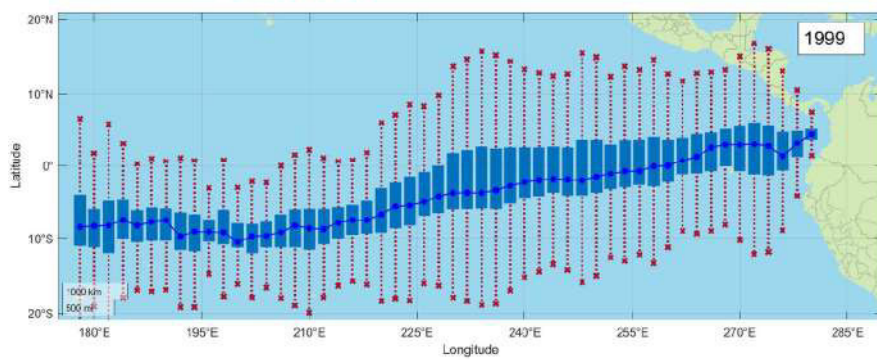
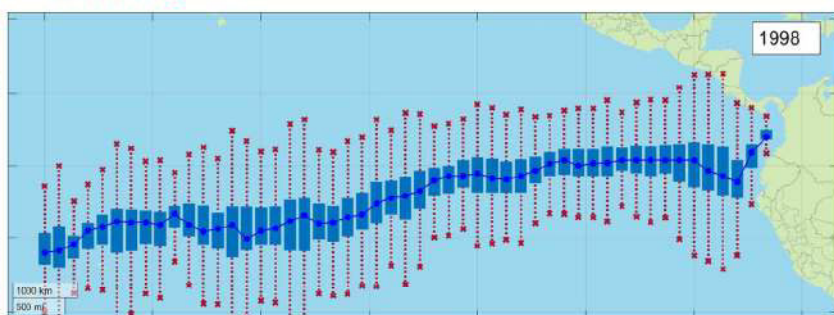
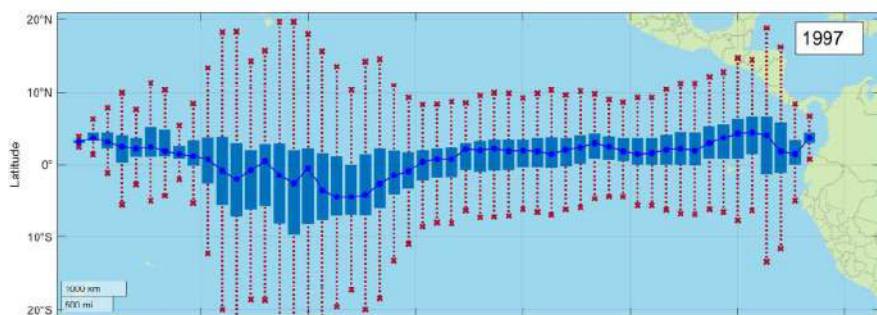
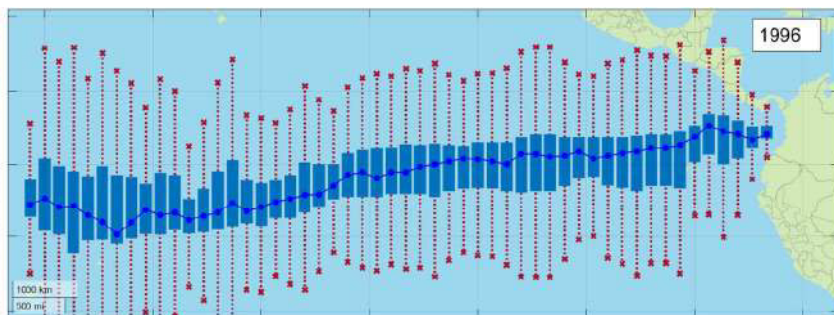
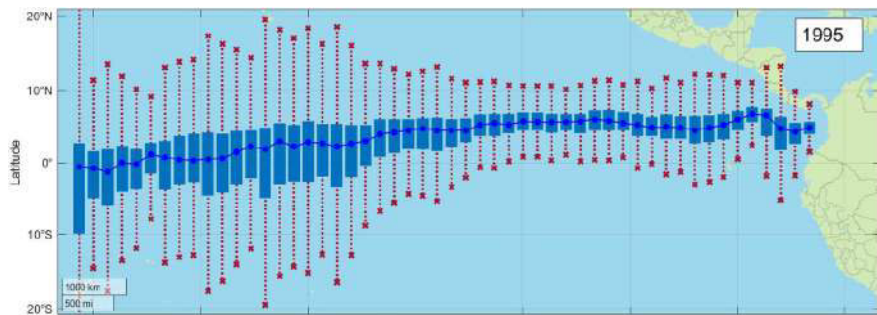


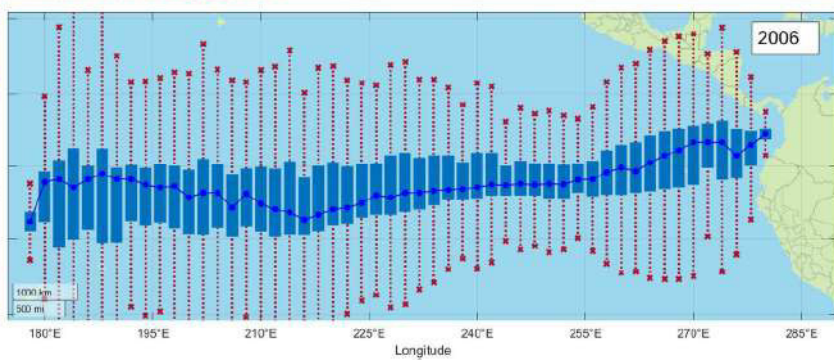
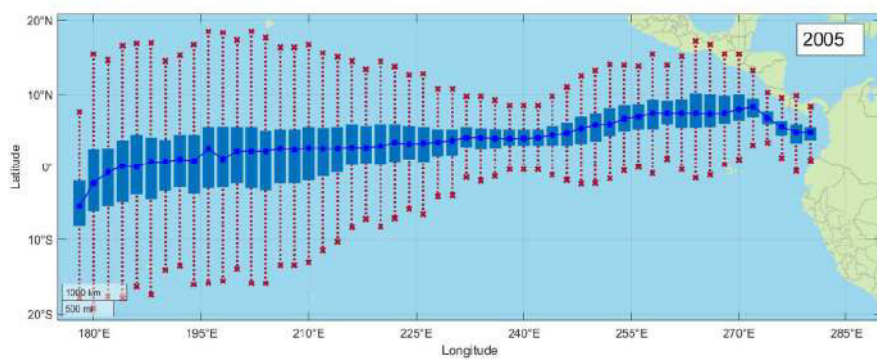
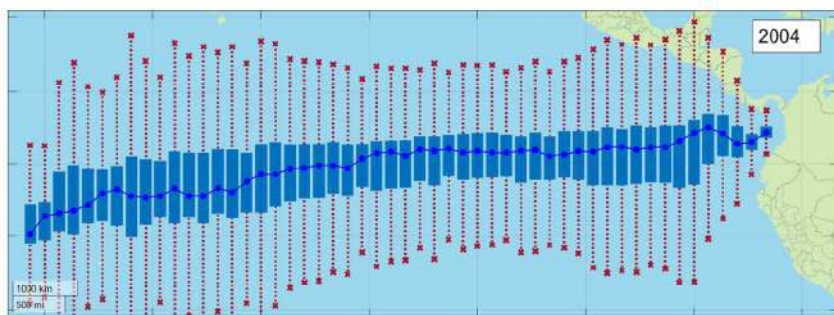
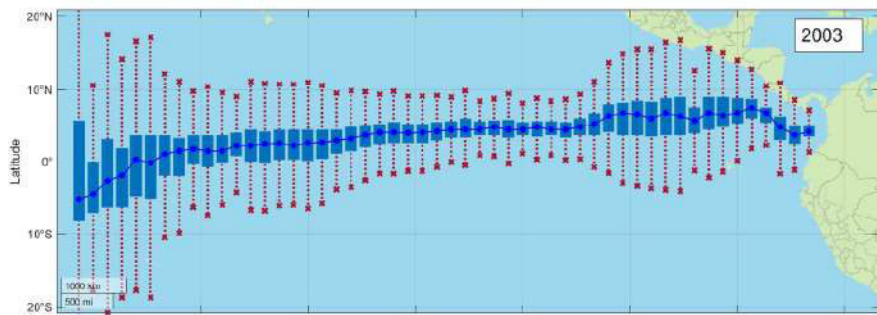
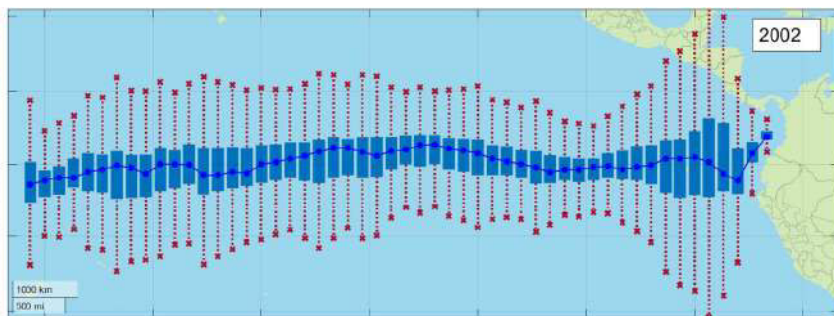
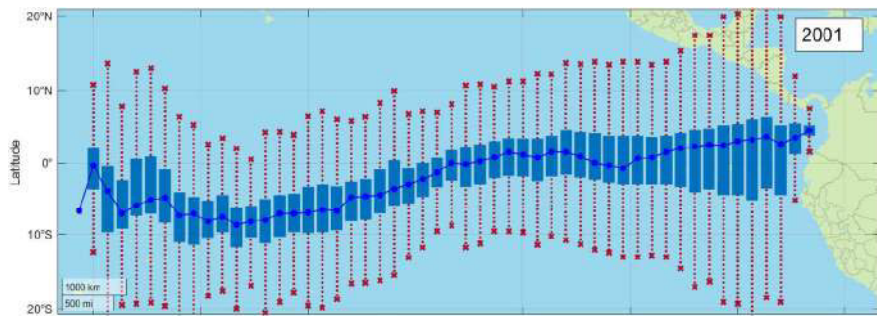
MARZO:

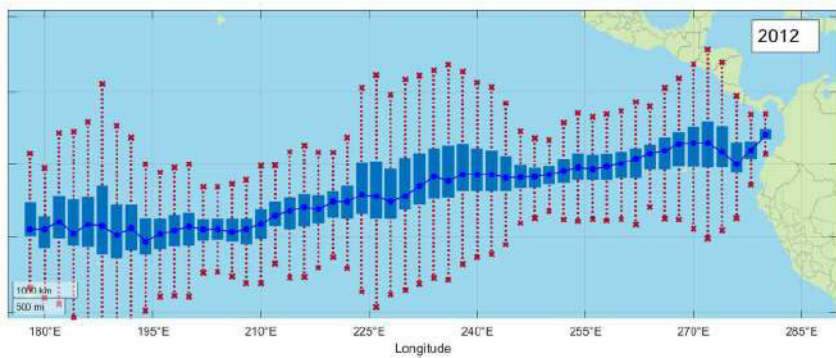
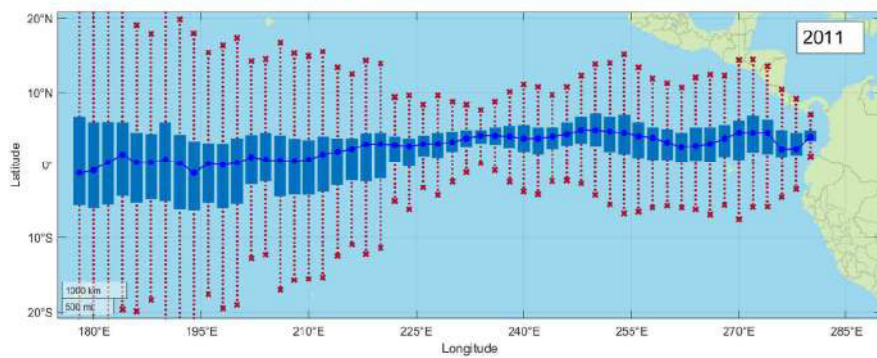
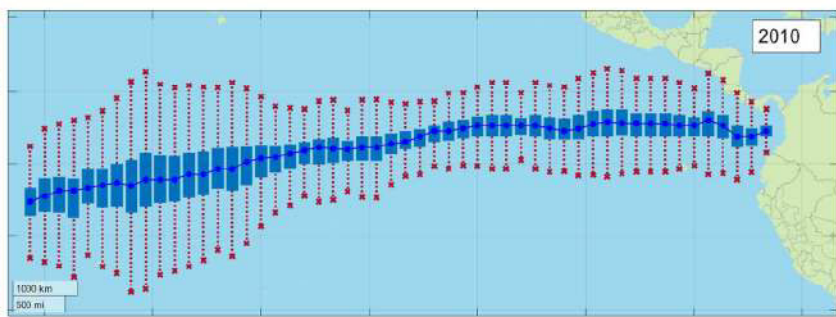
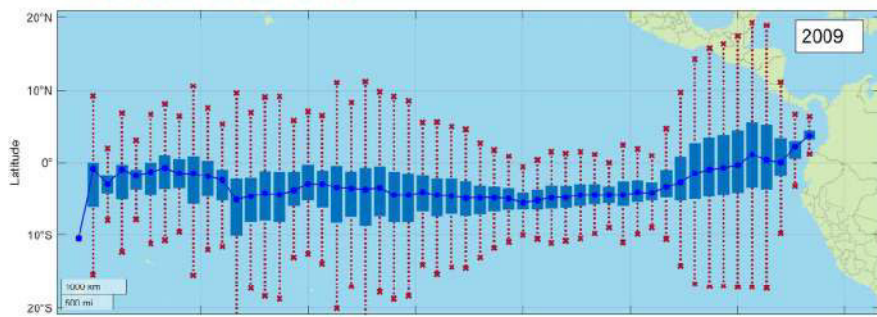
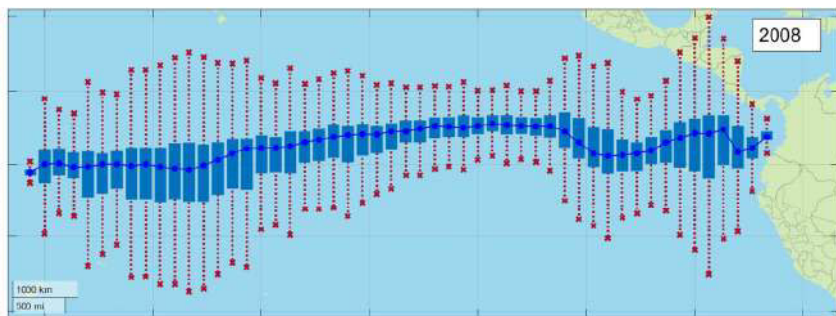
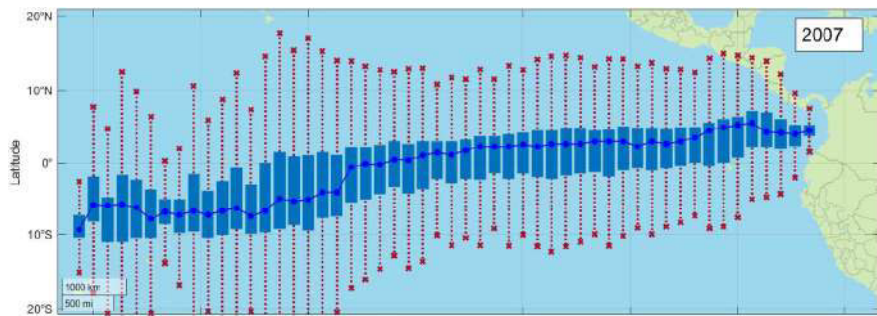


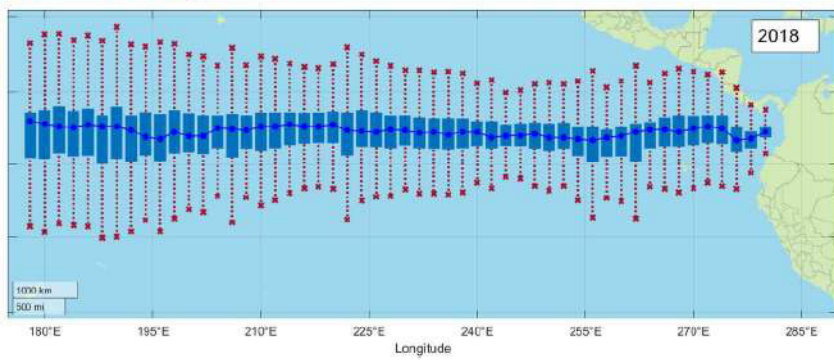
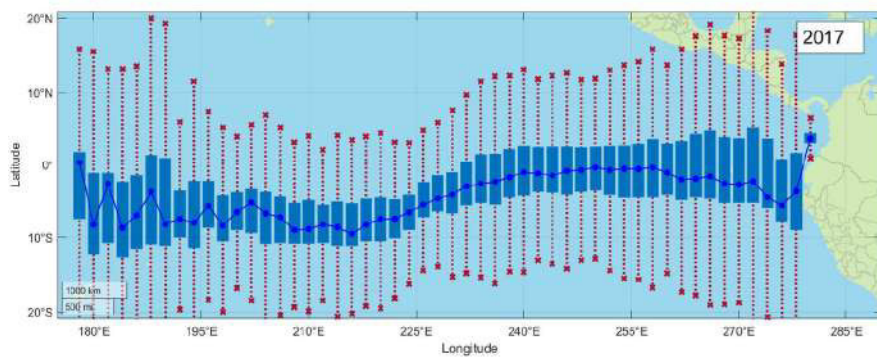
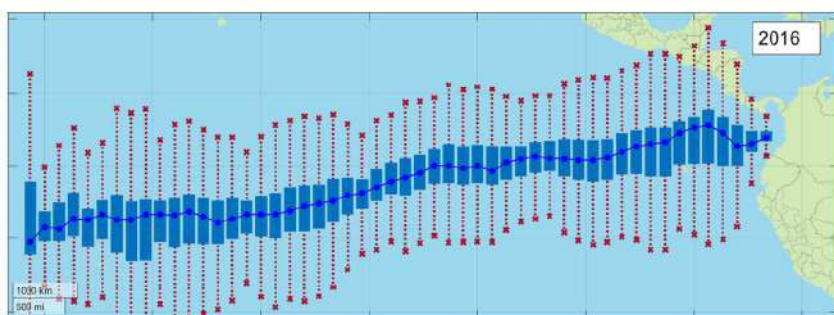
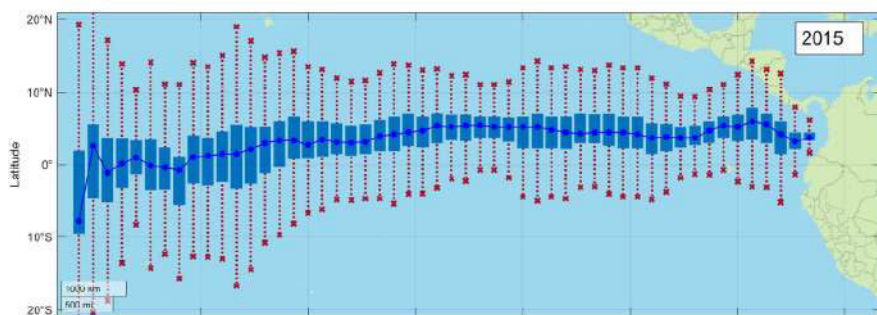
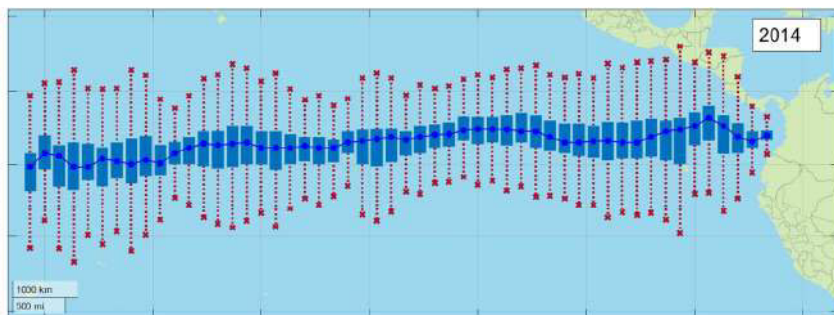
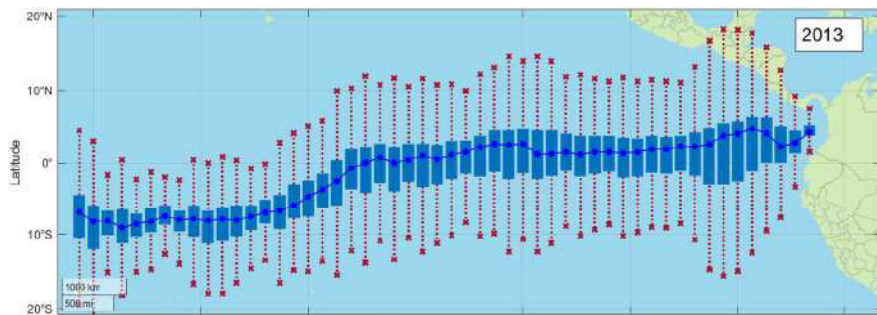


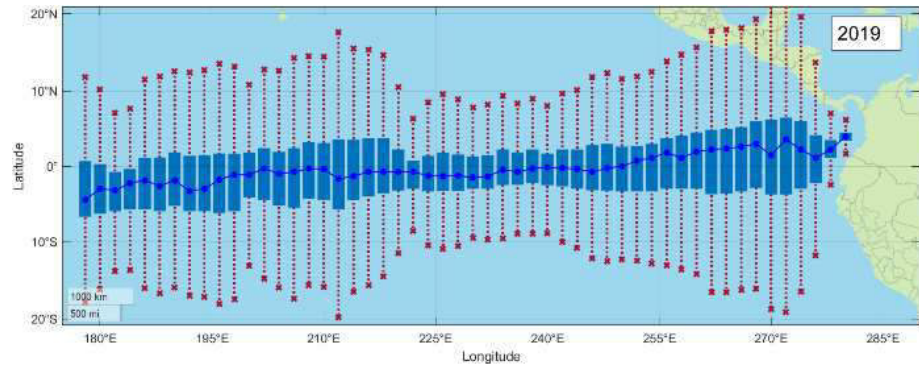




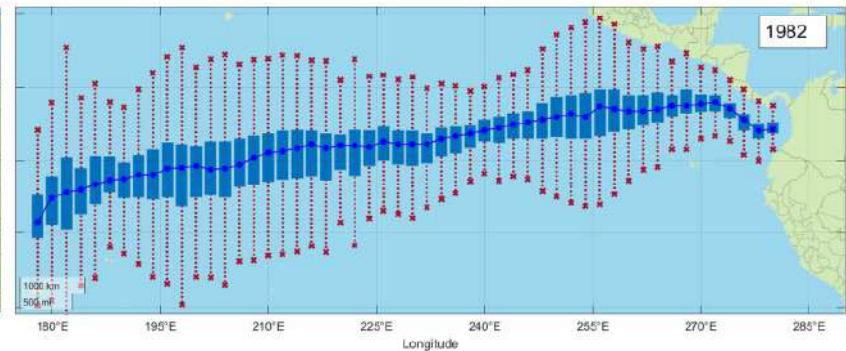
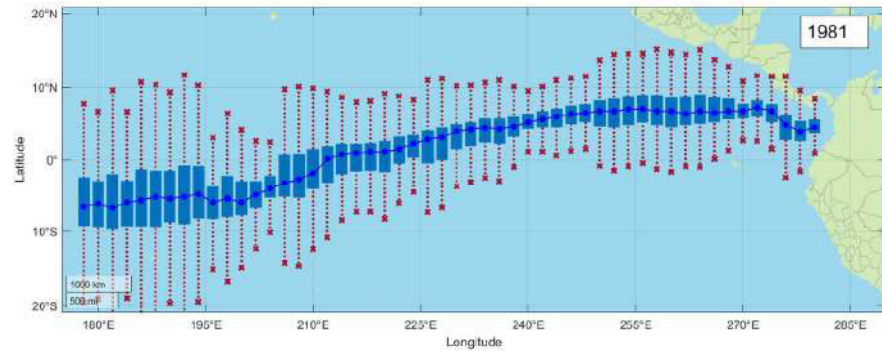
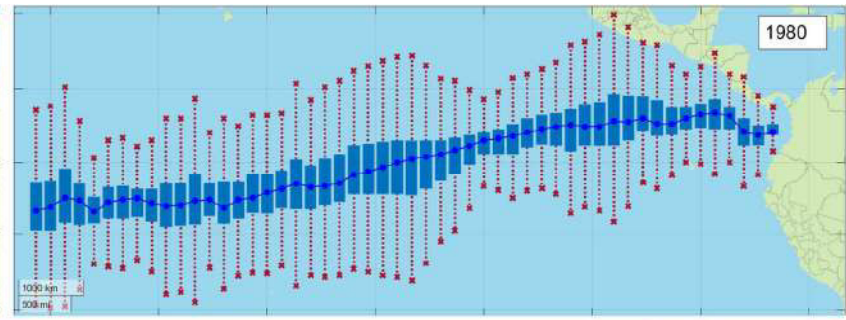
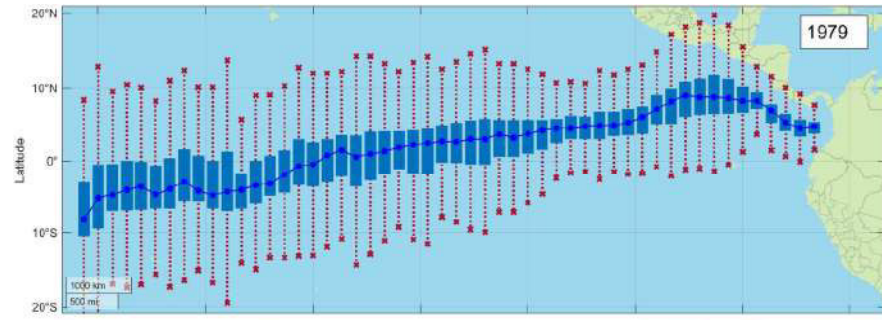


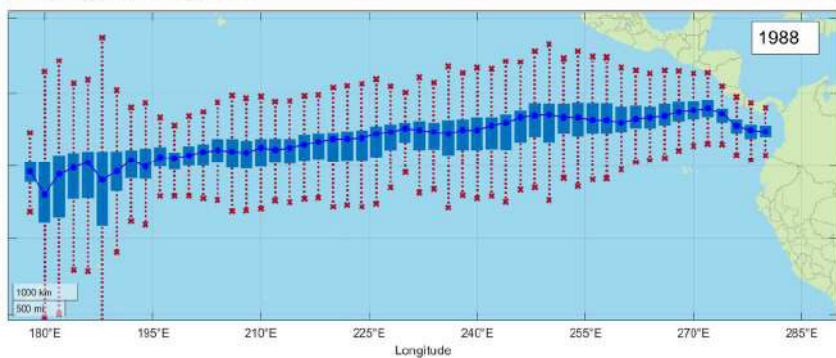
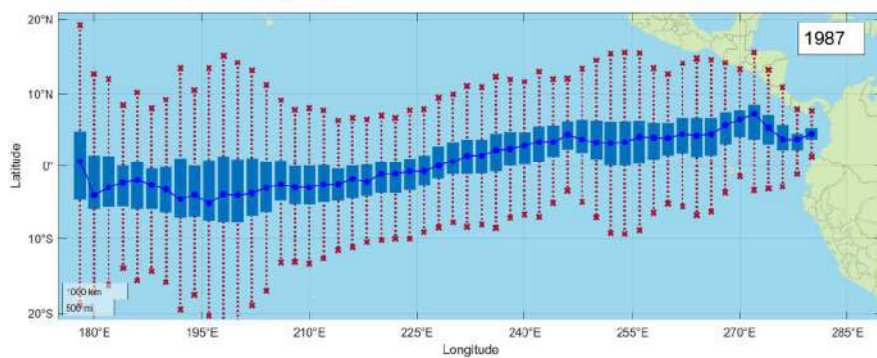
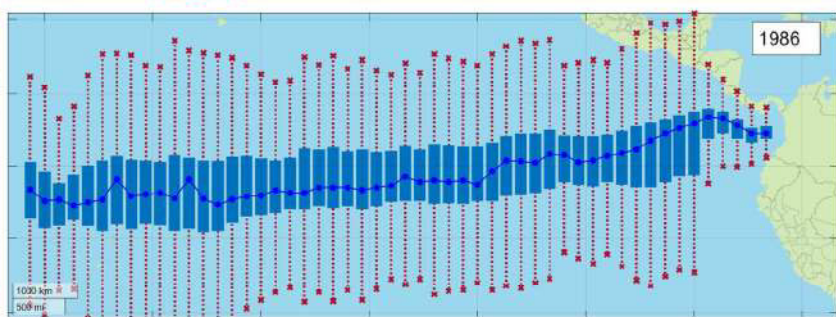
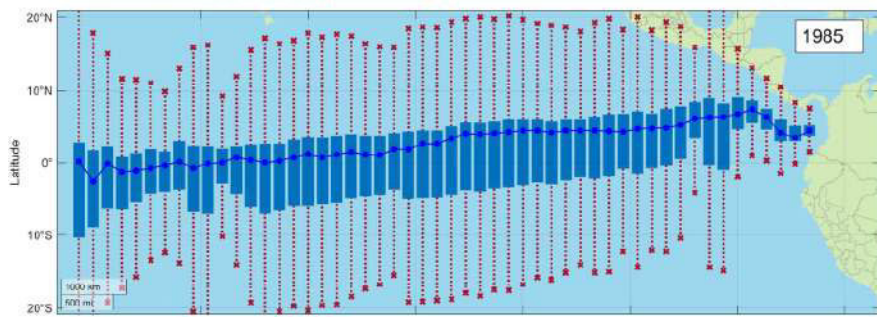
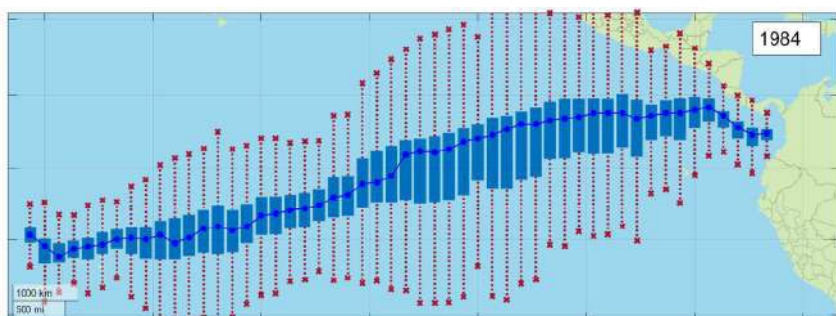
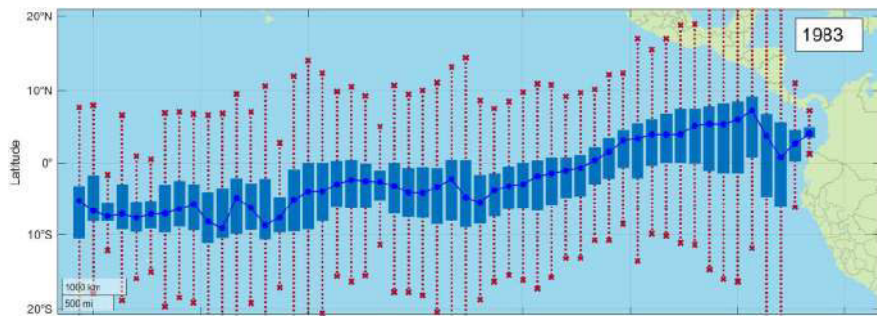


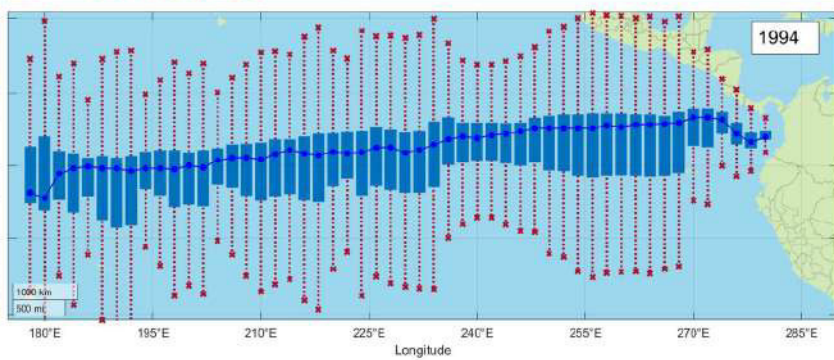
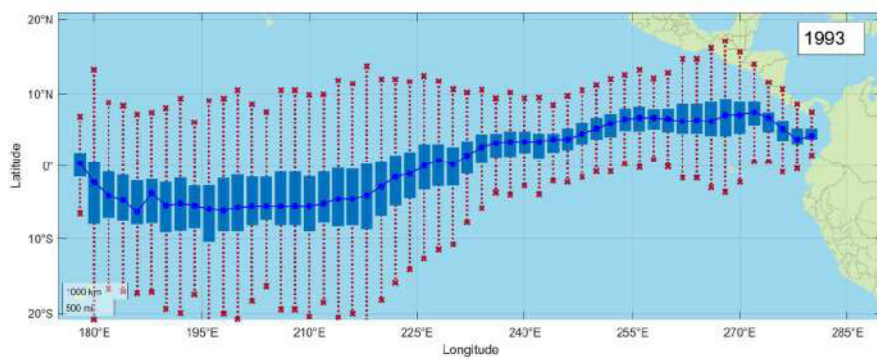
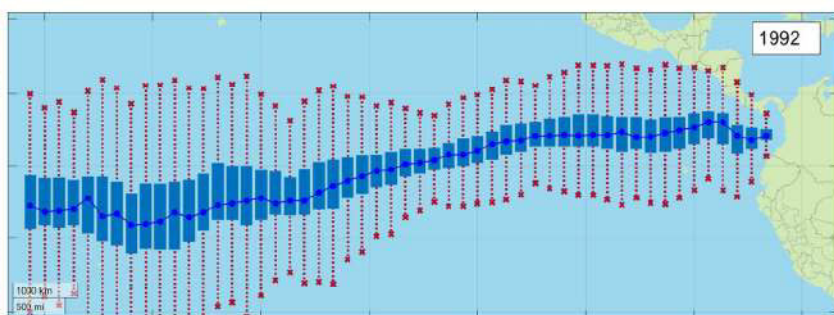
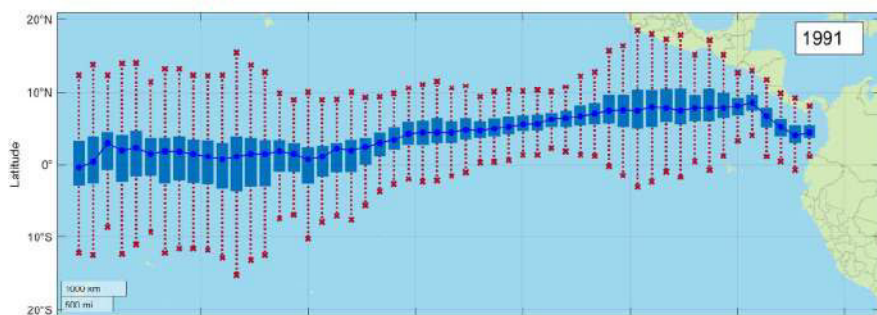
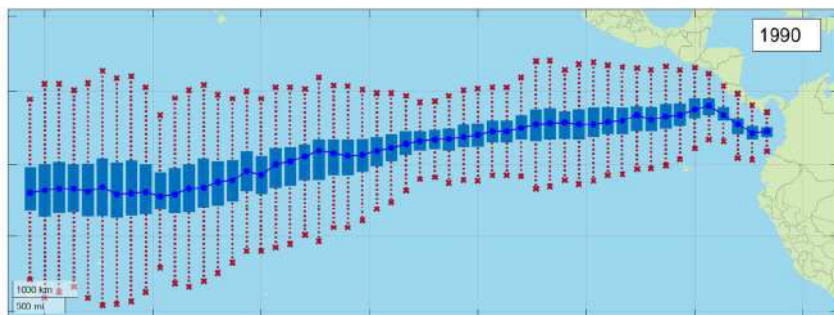
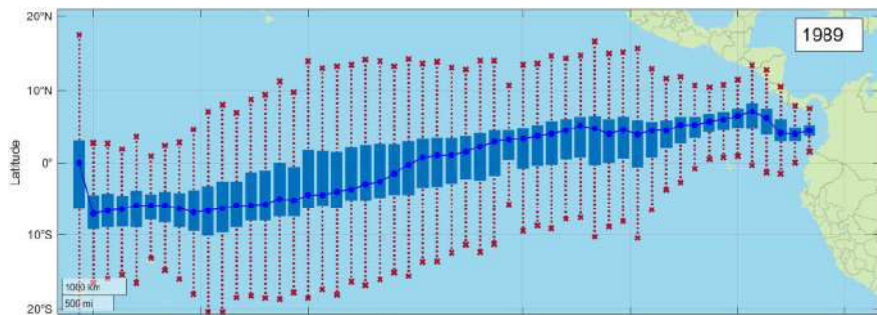


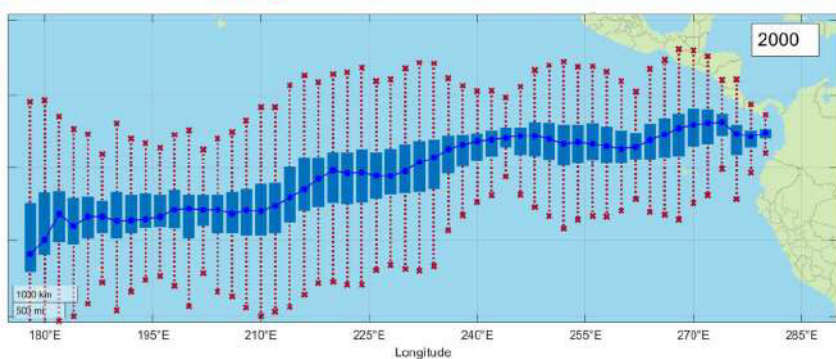
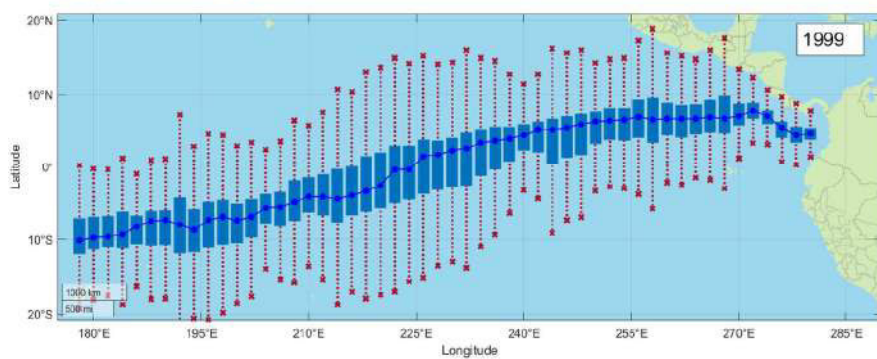
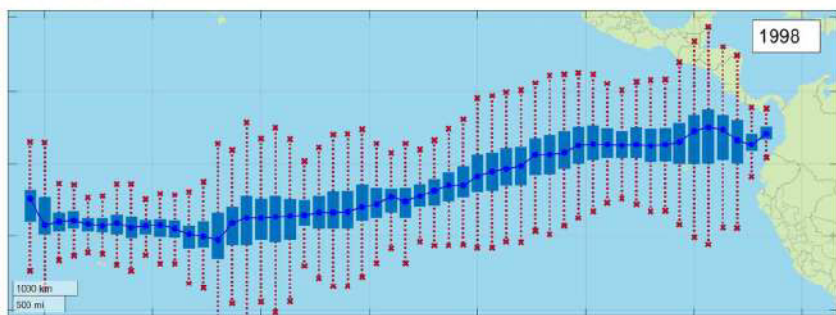
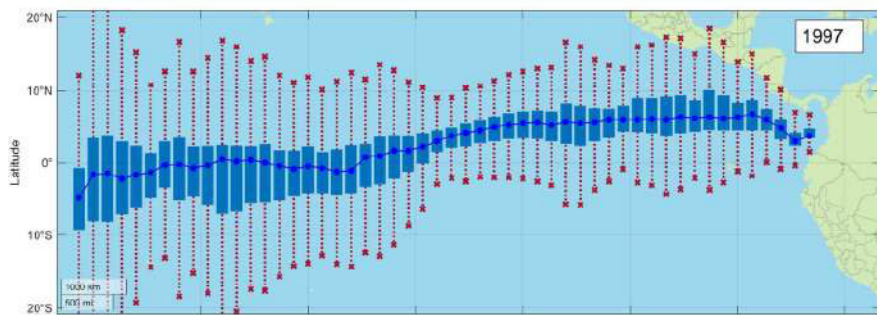
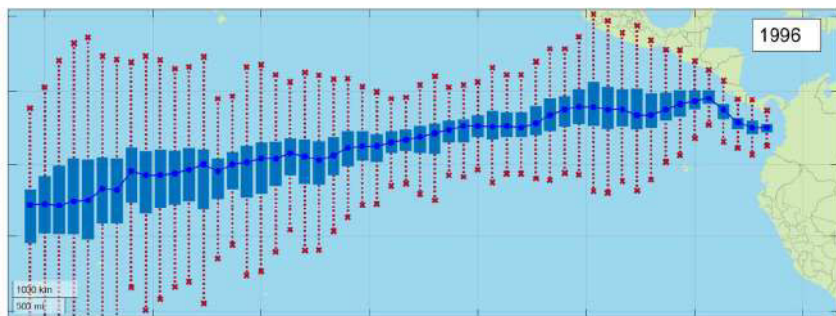
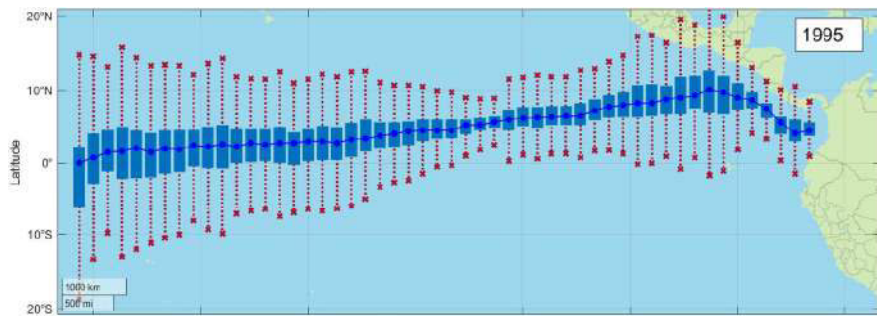


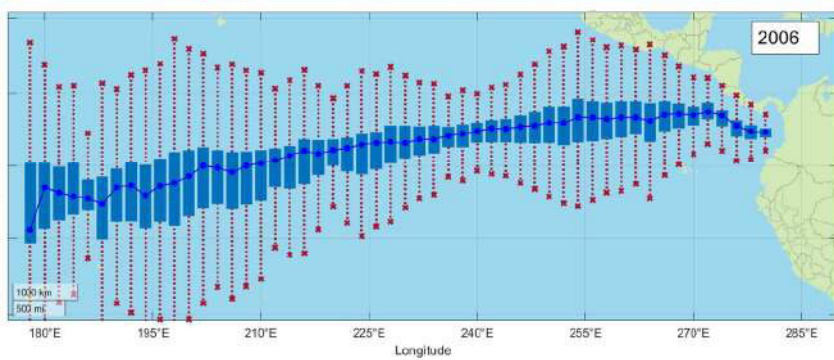
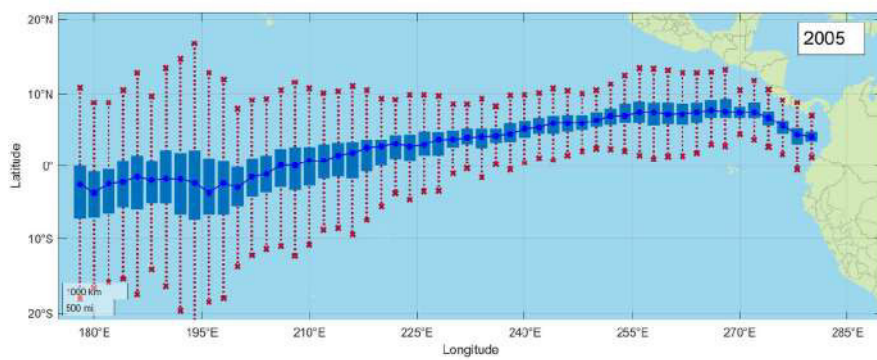
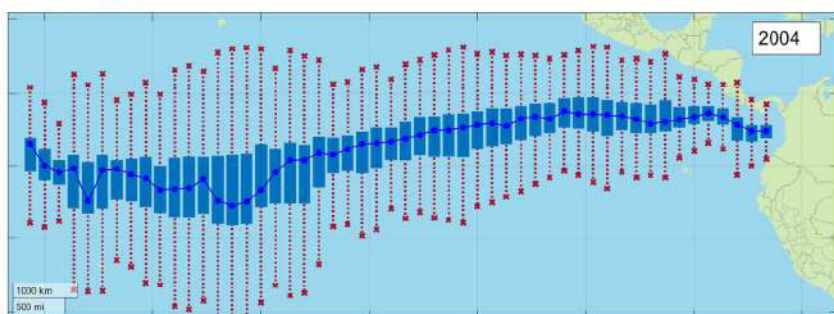
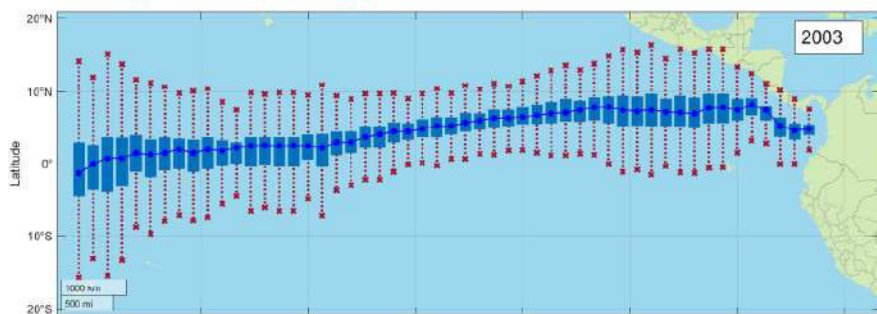
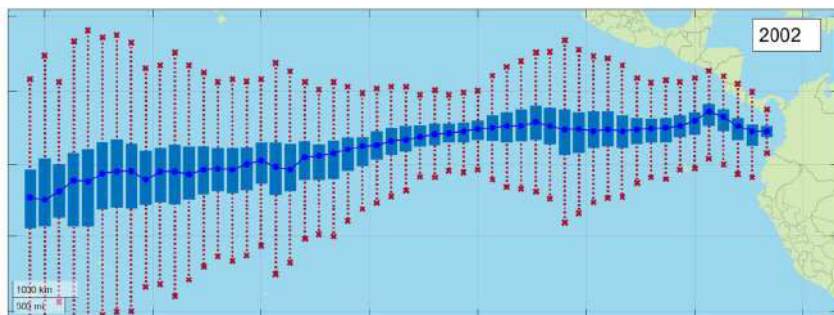
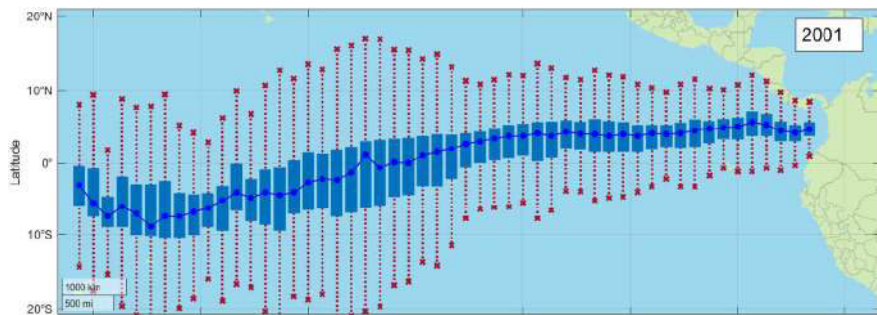
ABRIL:

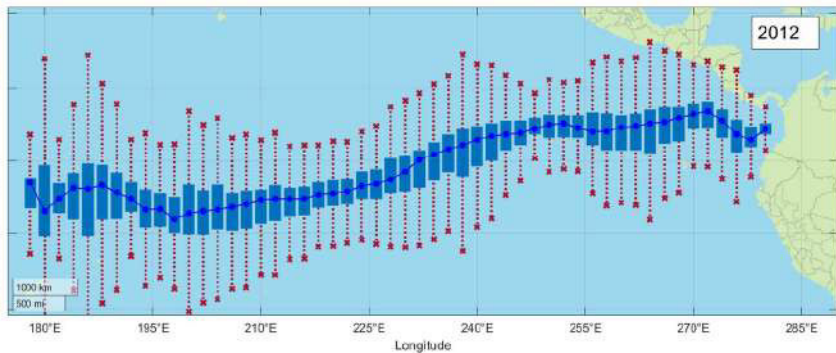
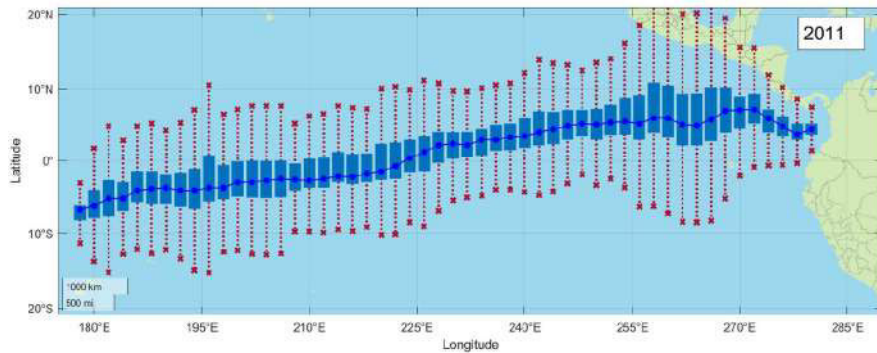
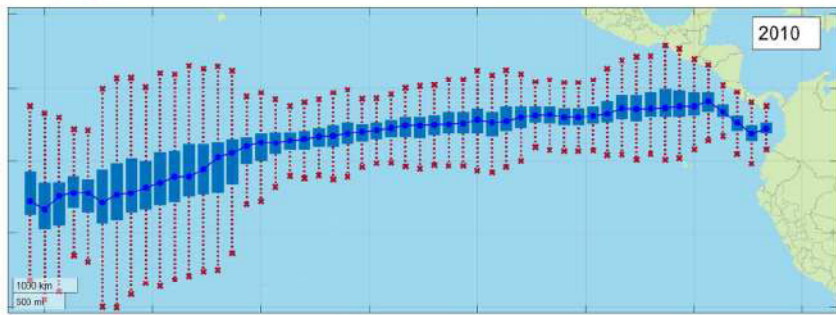
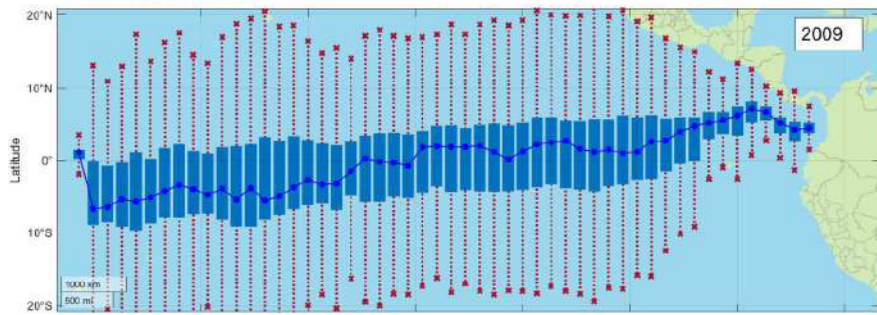
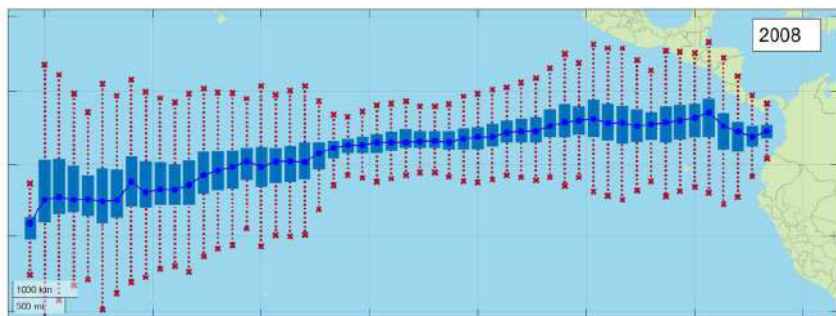
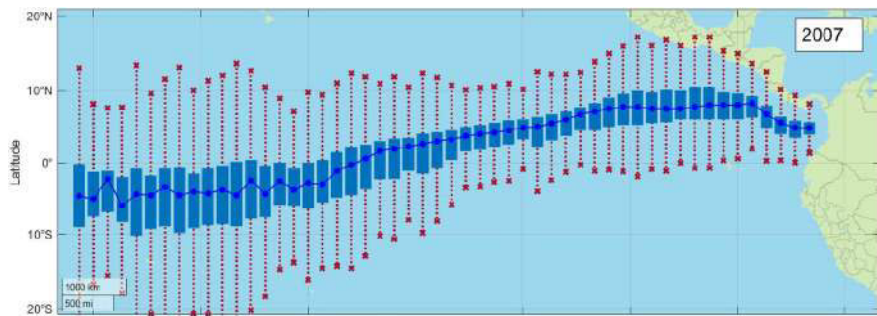


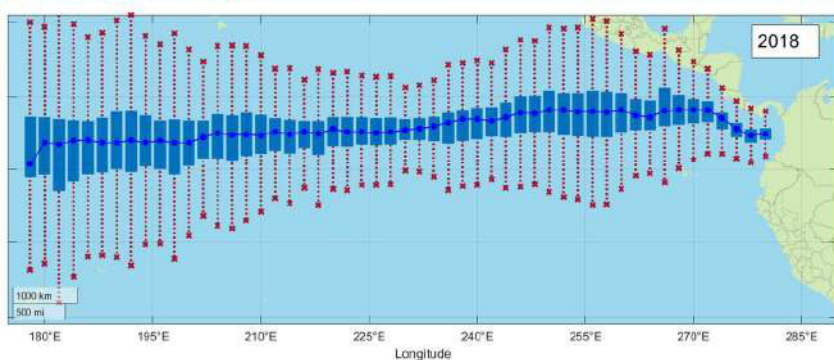
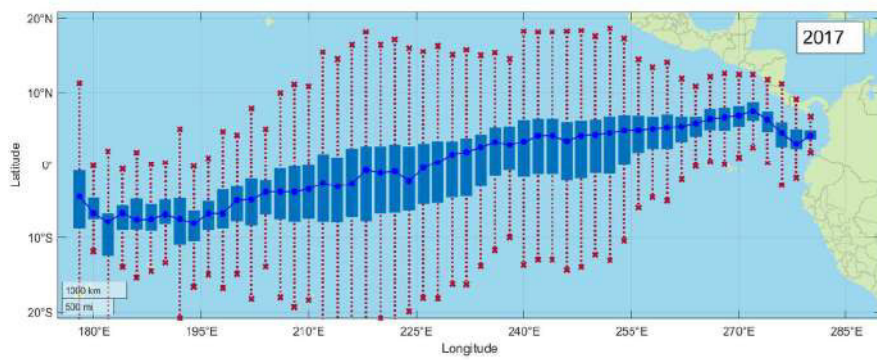
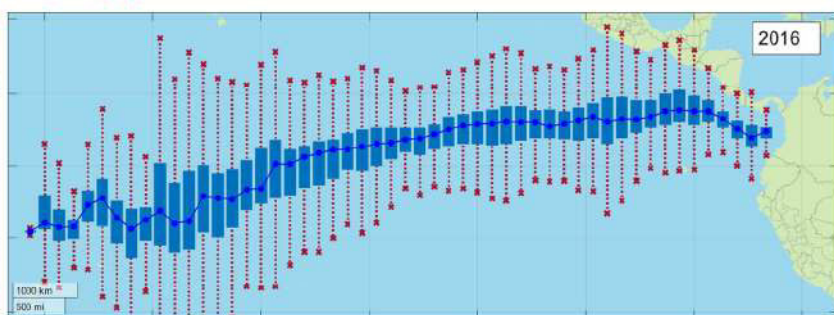
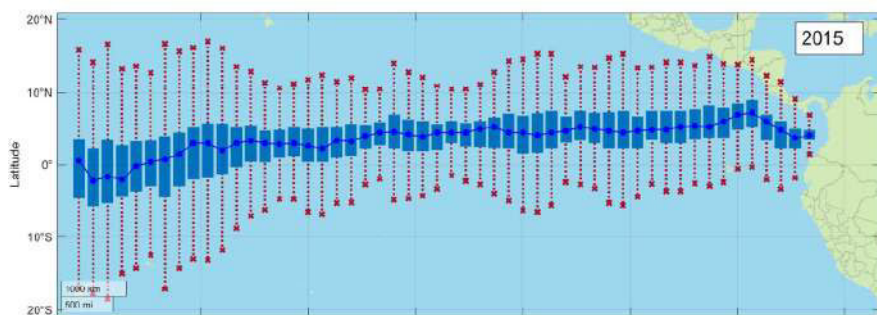
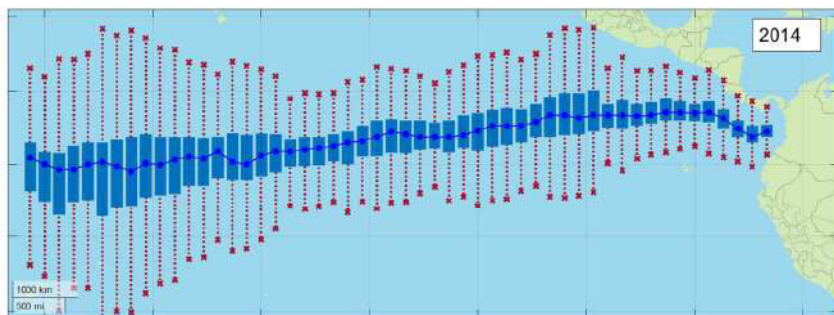
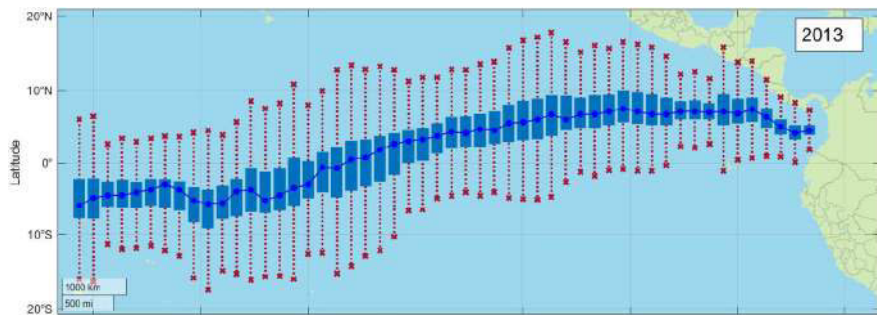


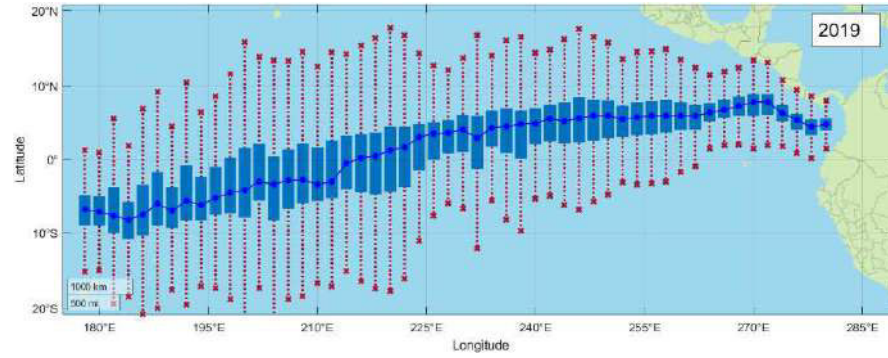




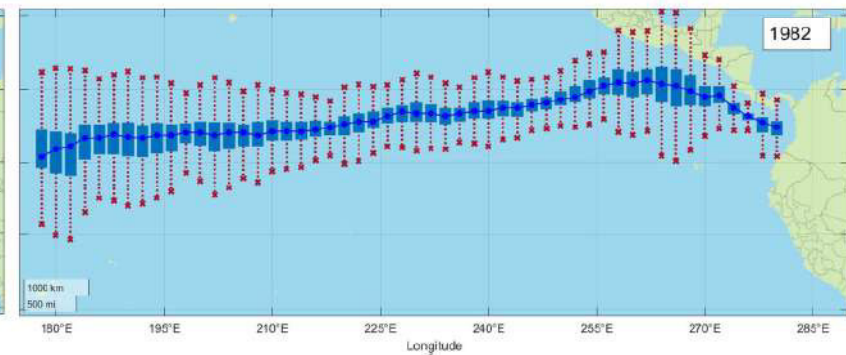
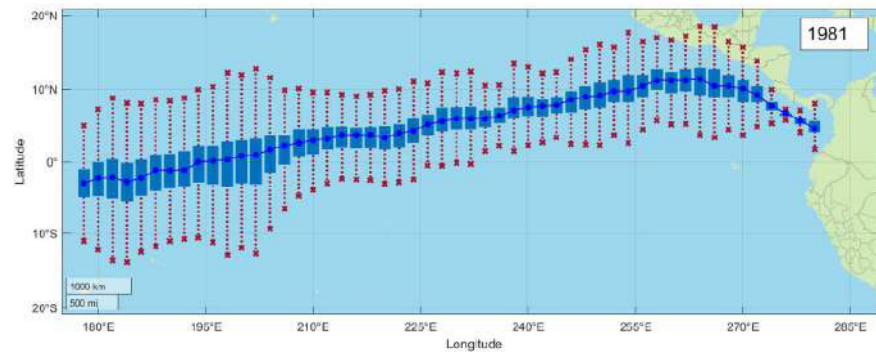
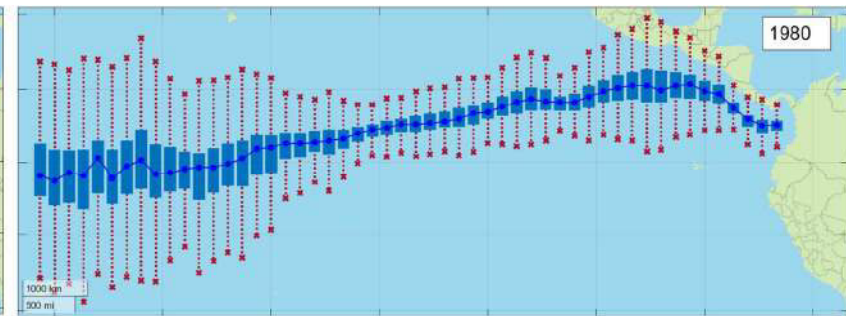
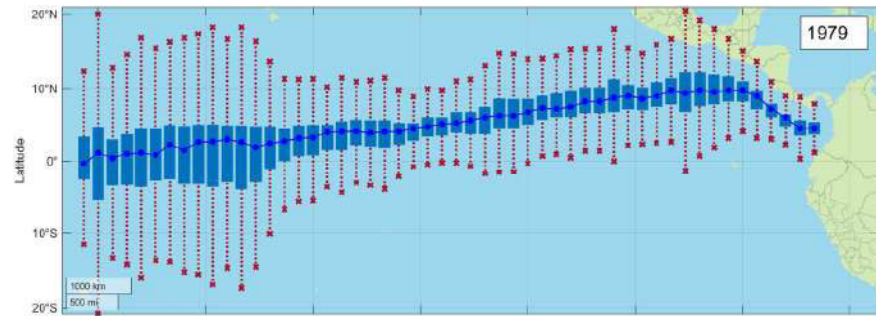


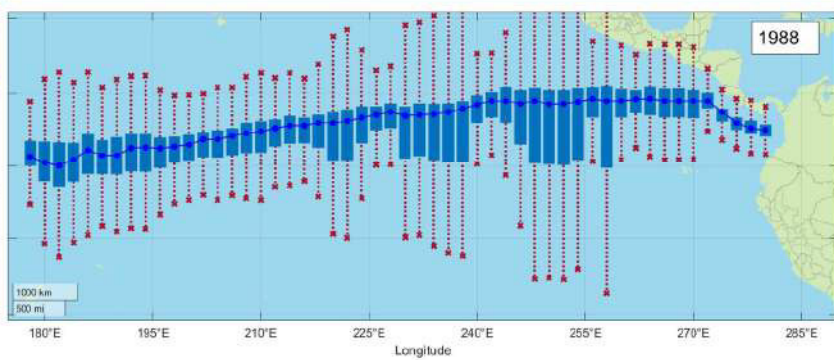
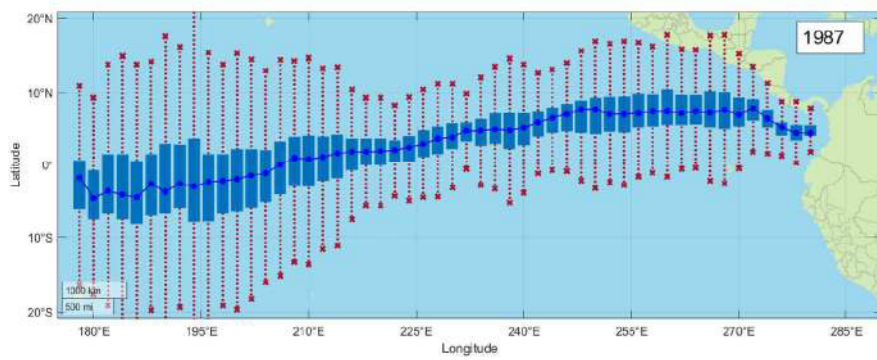
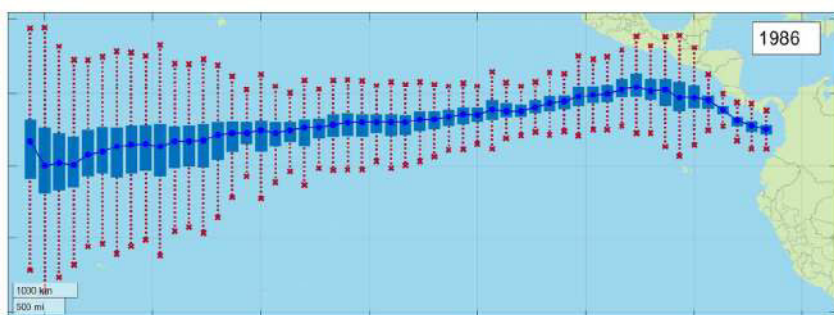
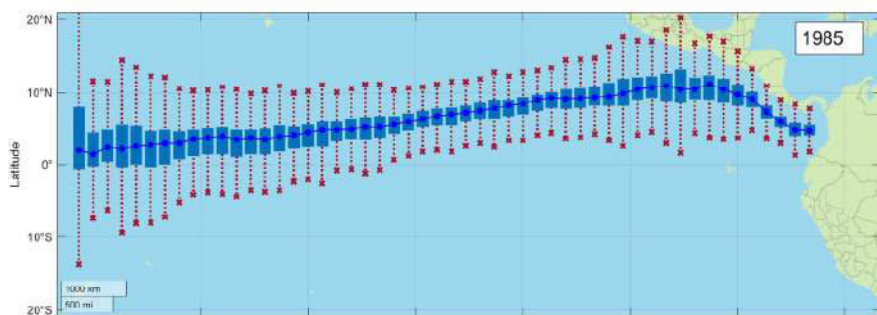
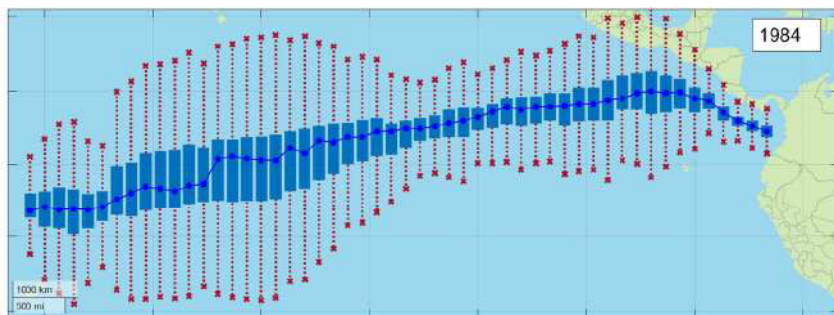
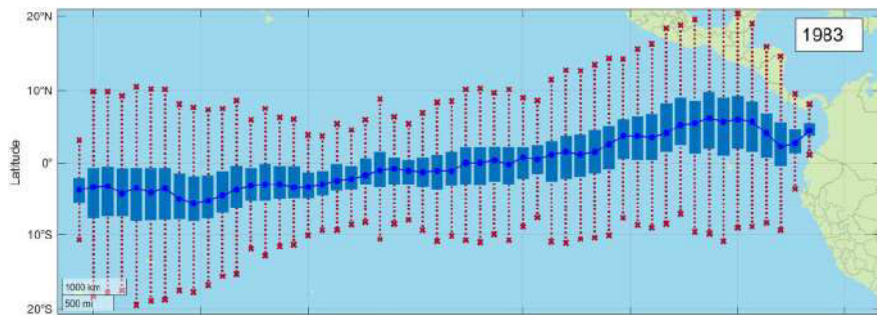


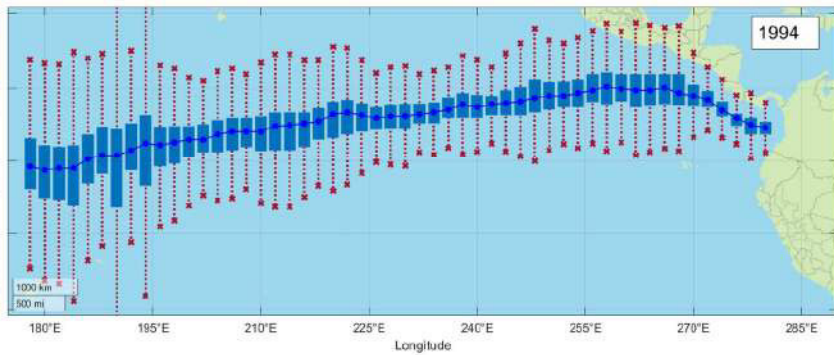
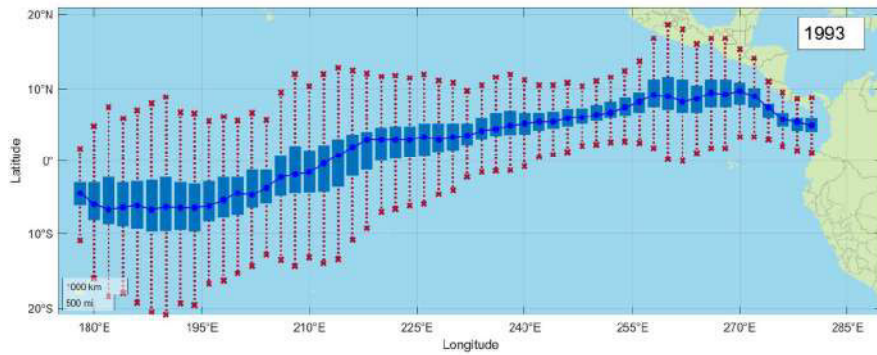
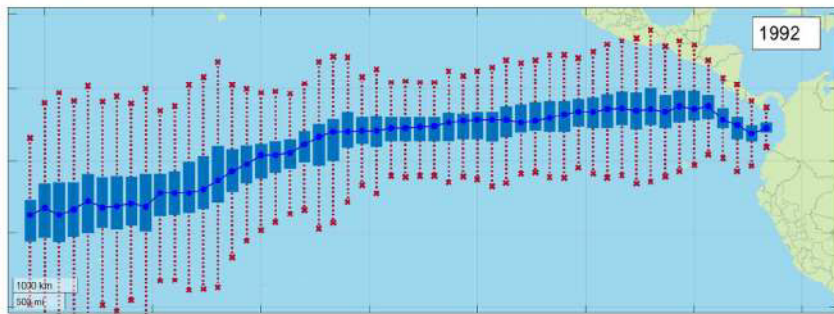
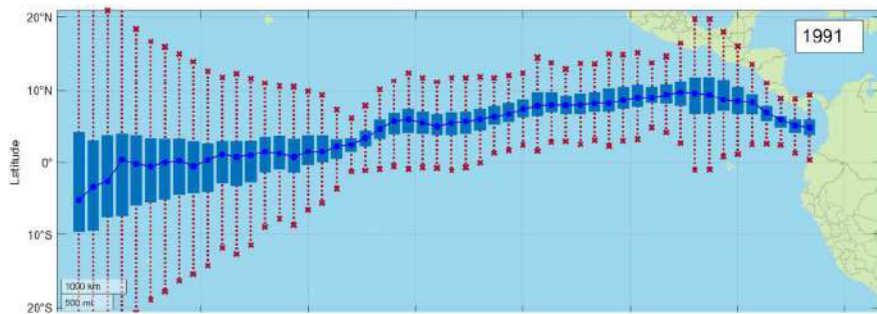
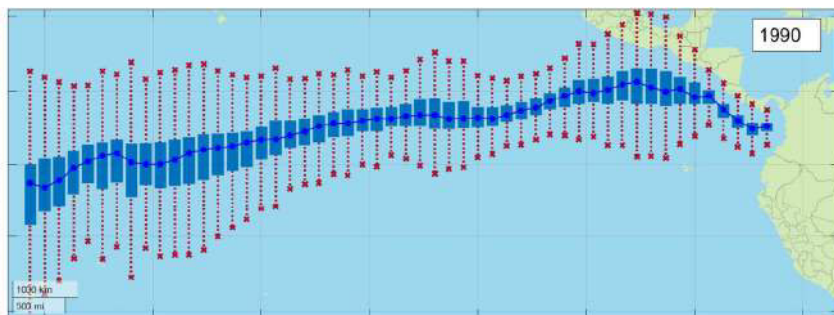
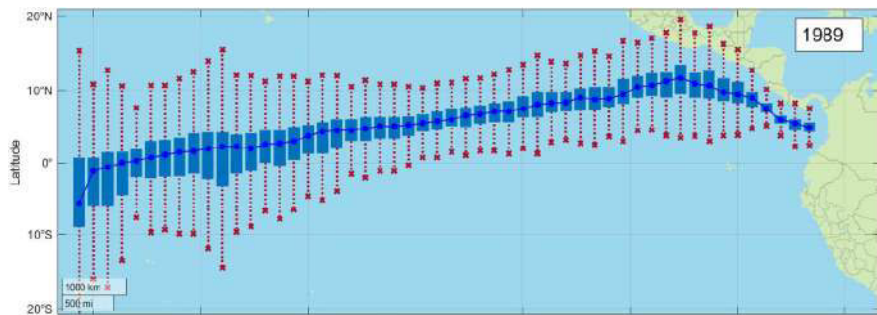


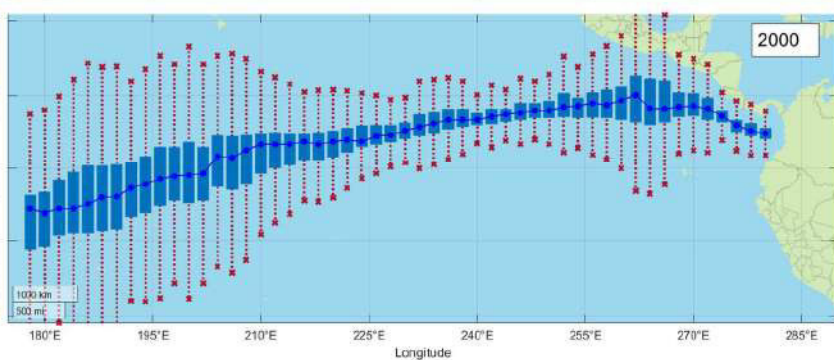
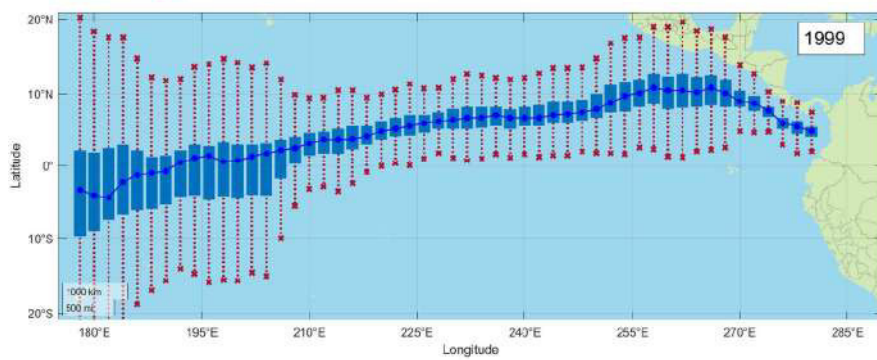
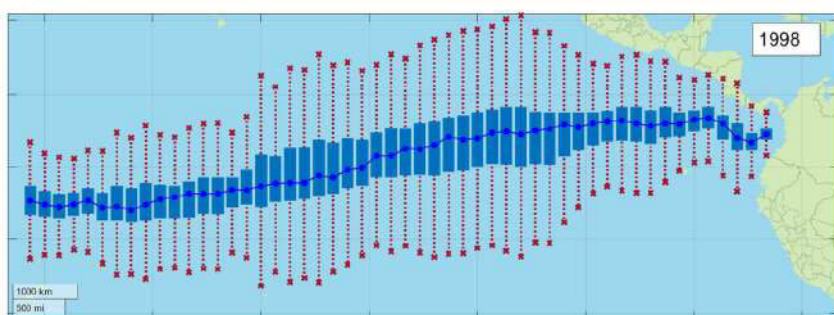
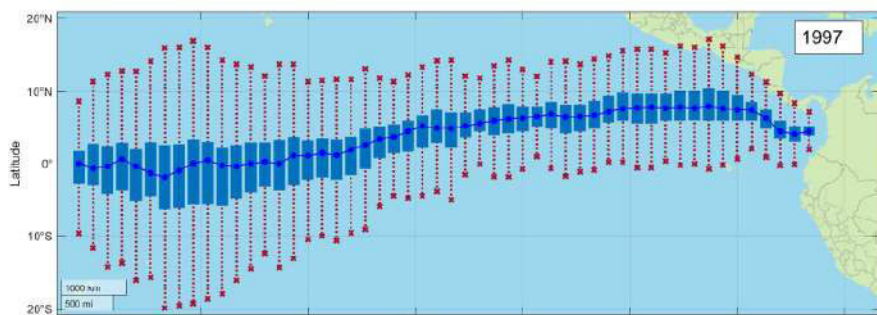
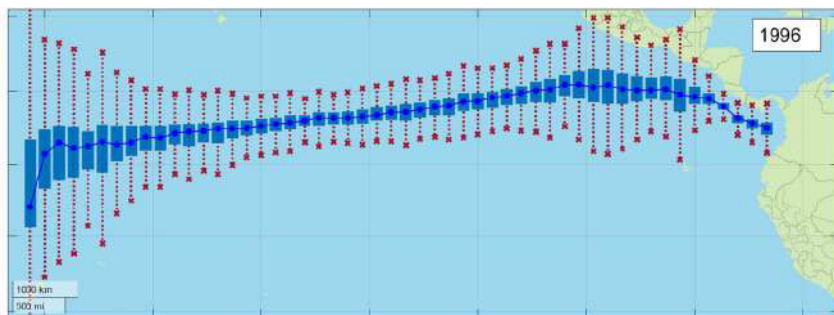
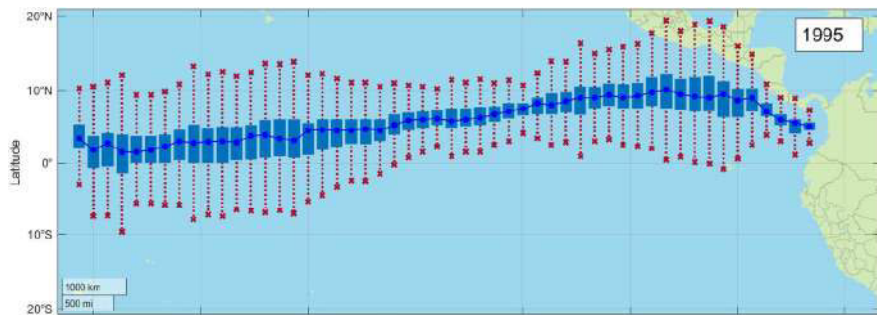


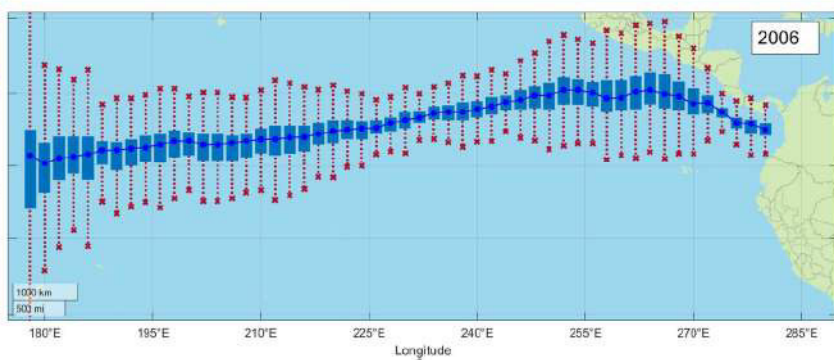
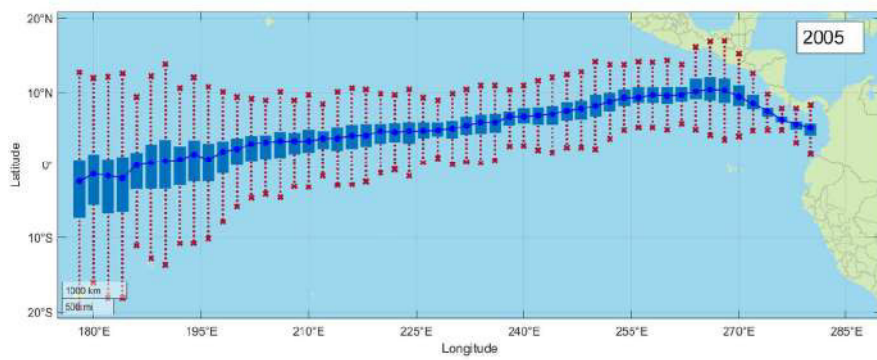
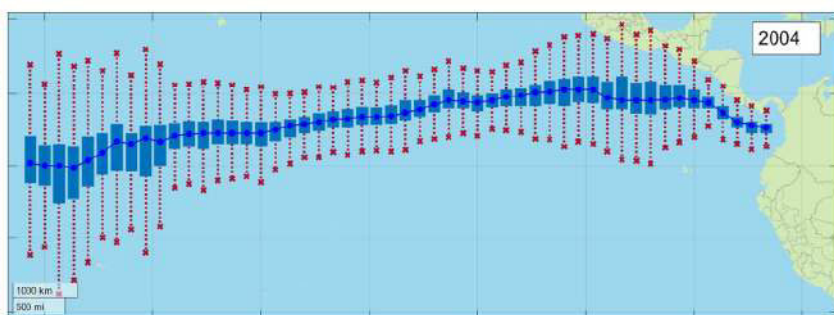
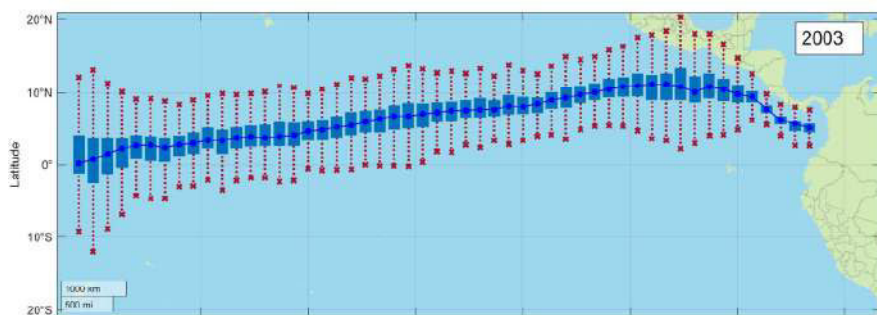
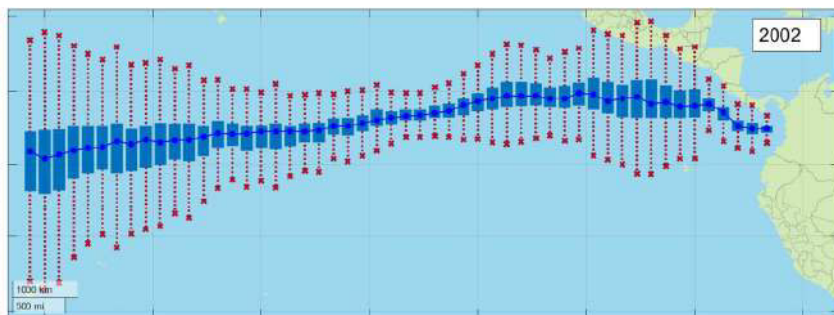
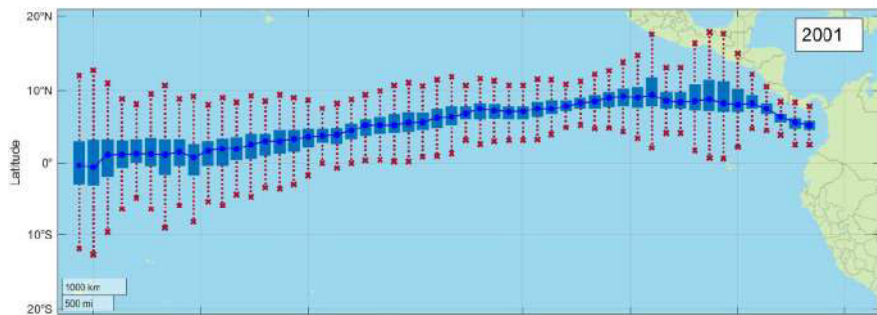
MAYO:

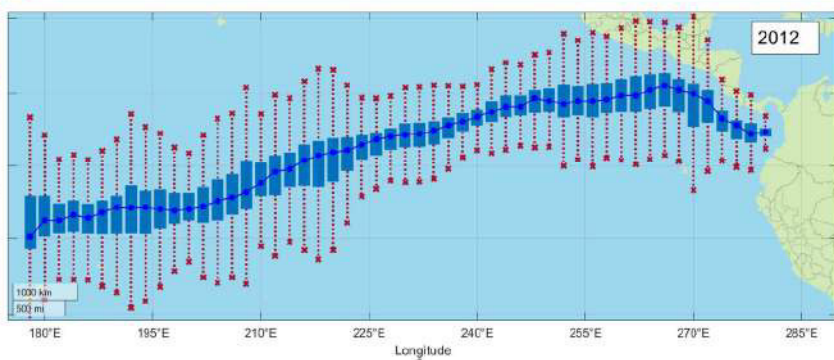
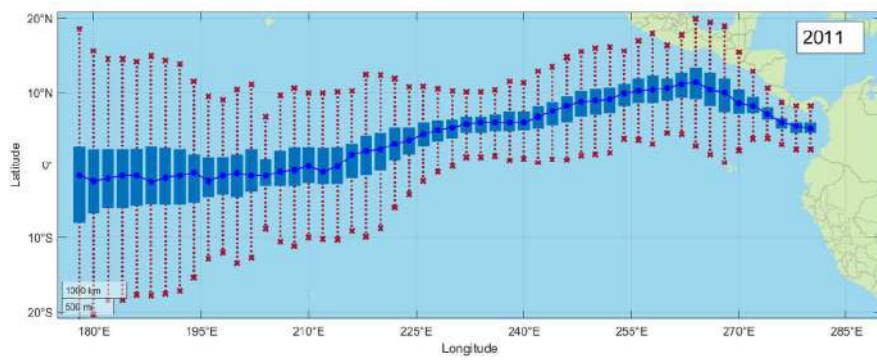
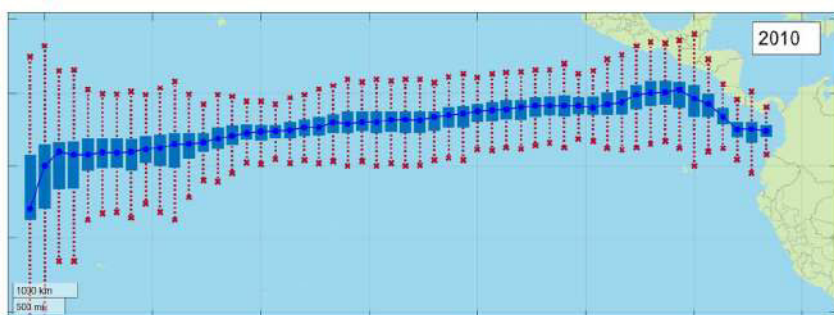
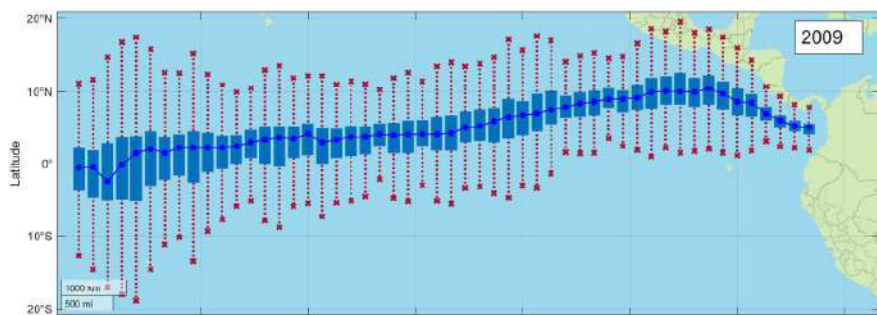
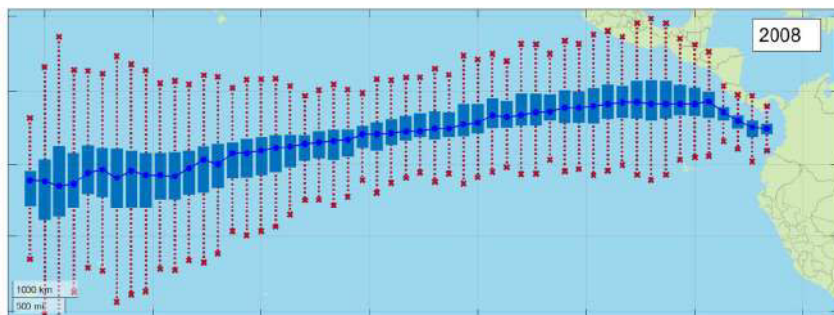
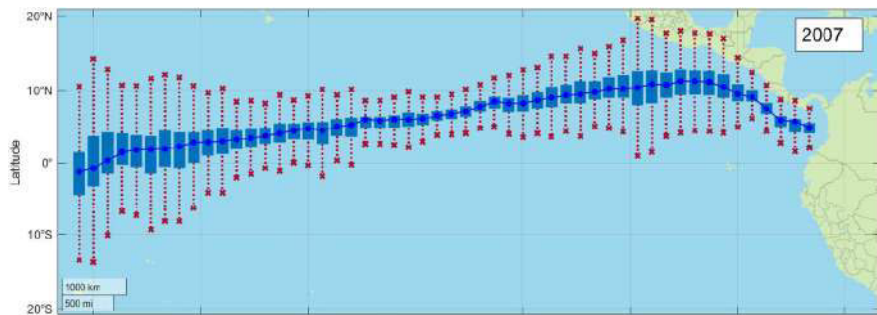


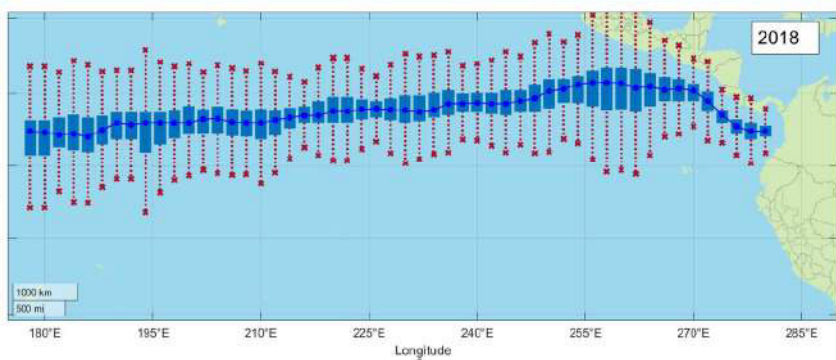
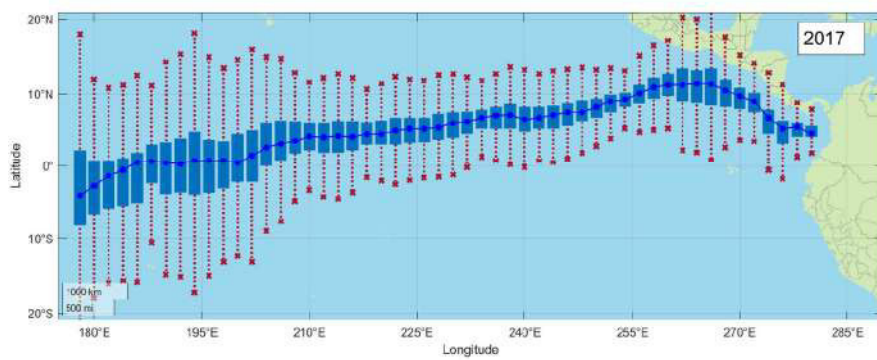
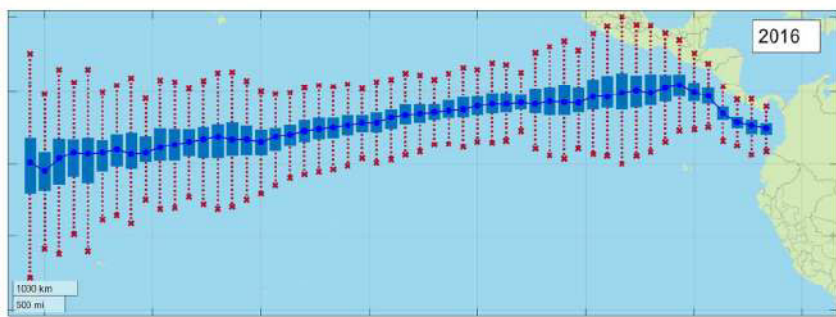
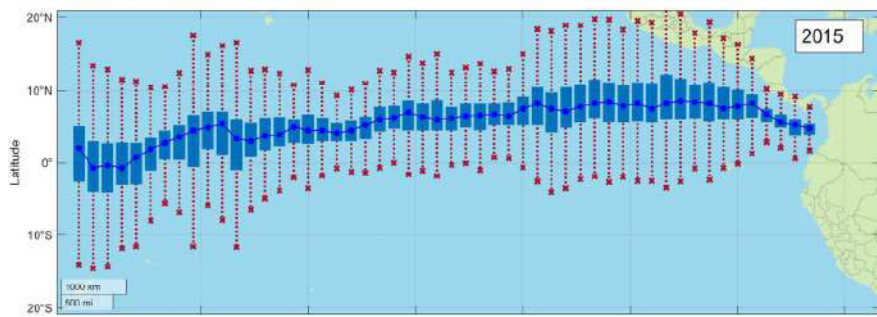
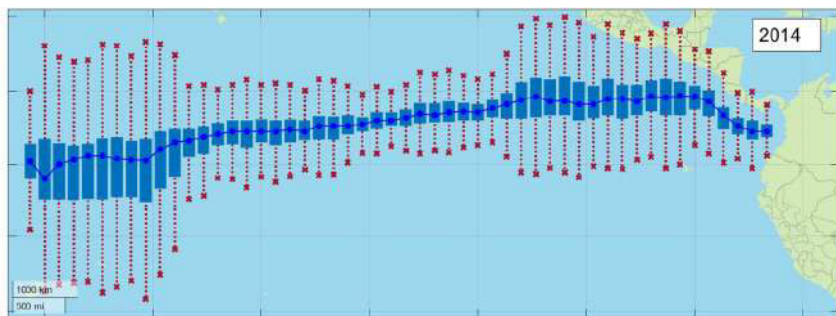
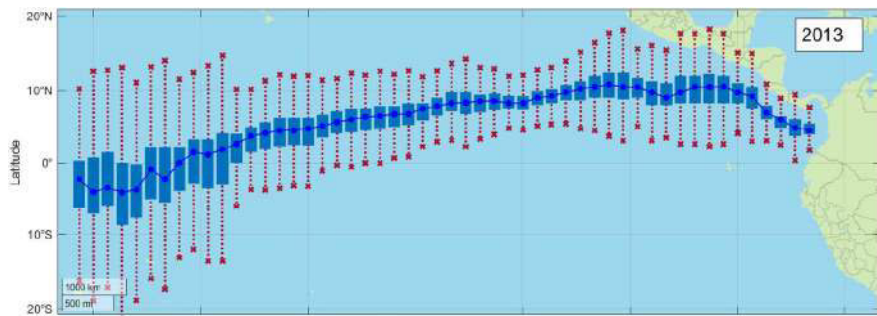


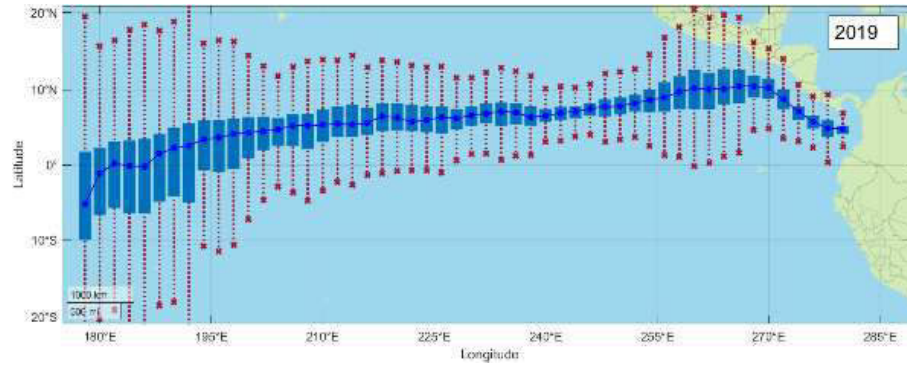




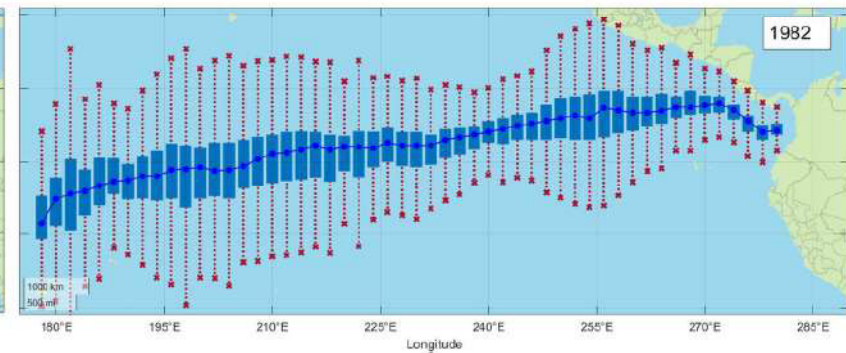
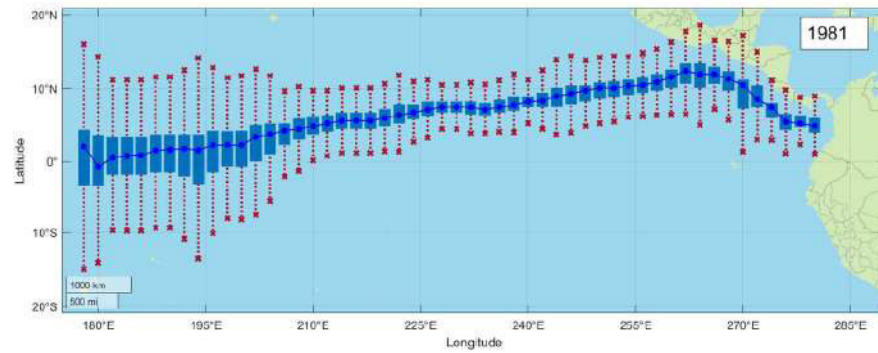
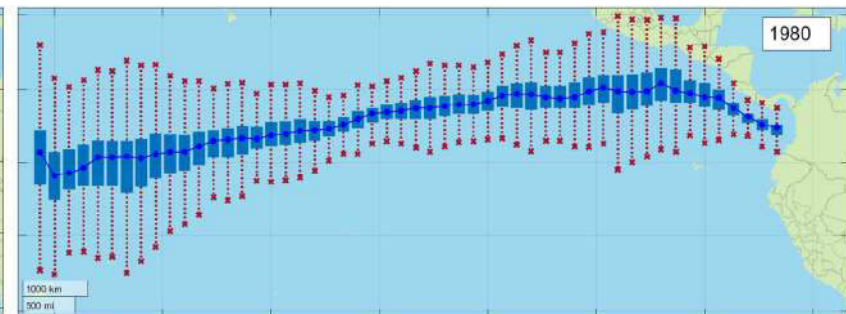
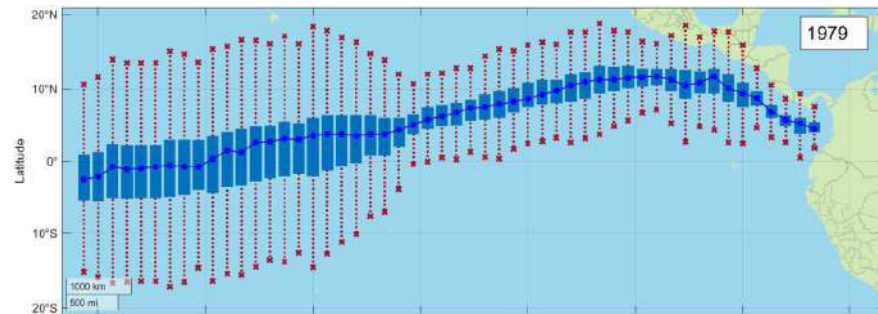


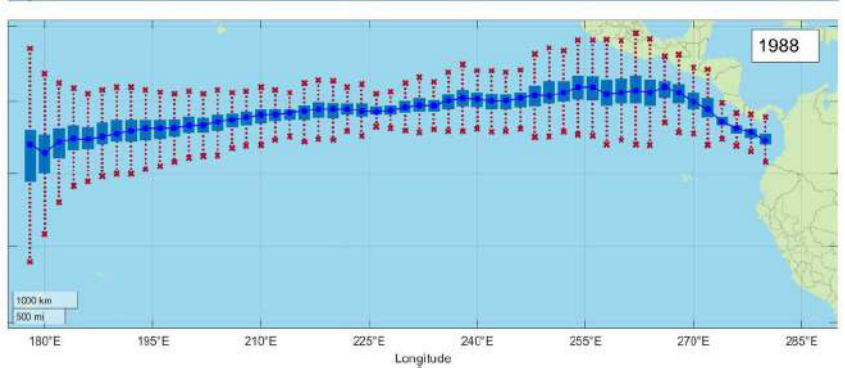
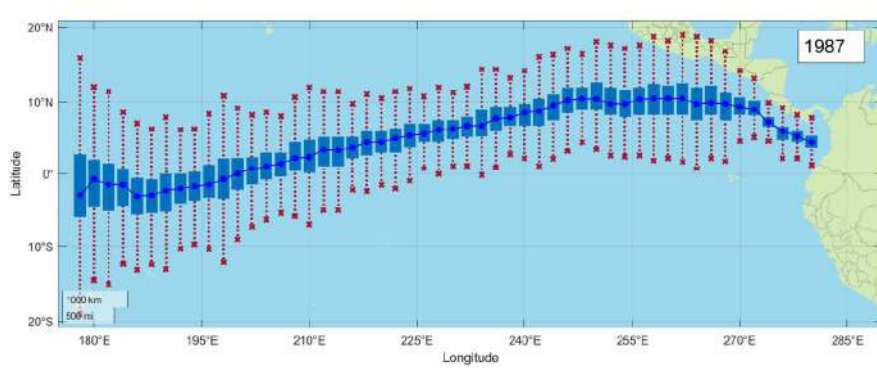
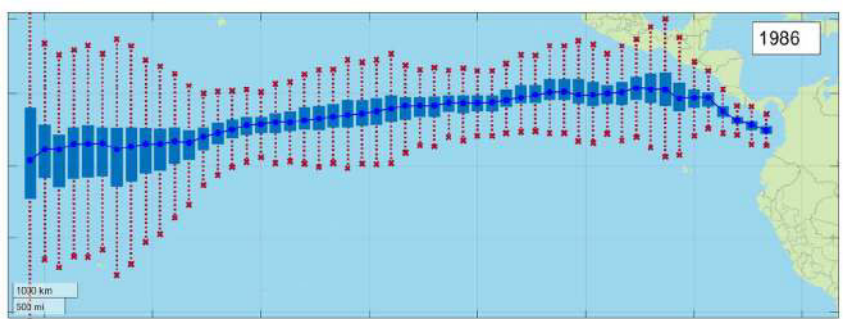
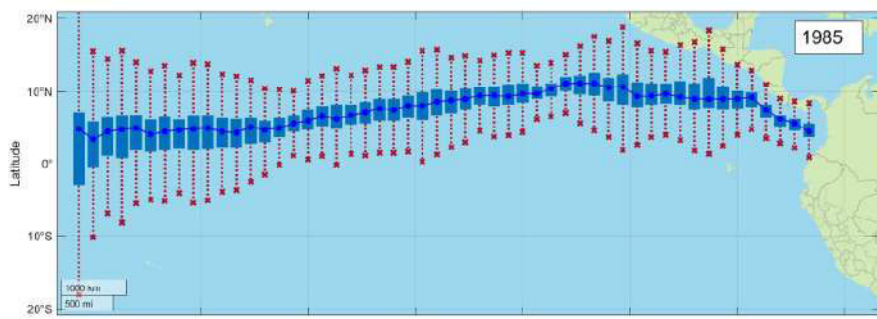
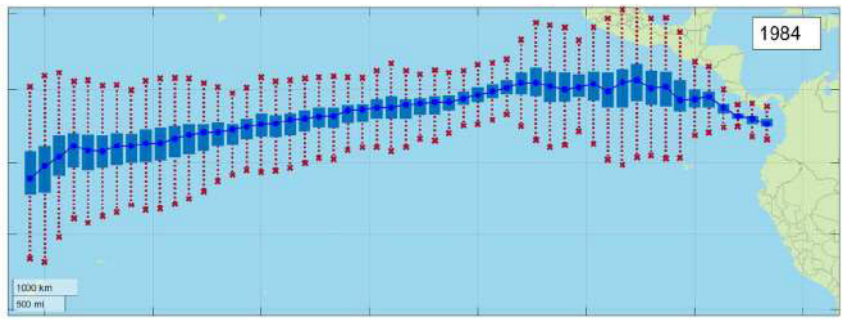
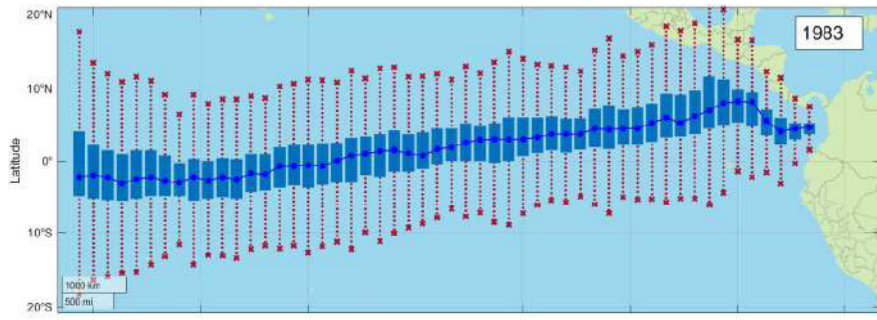


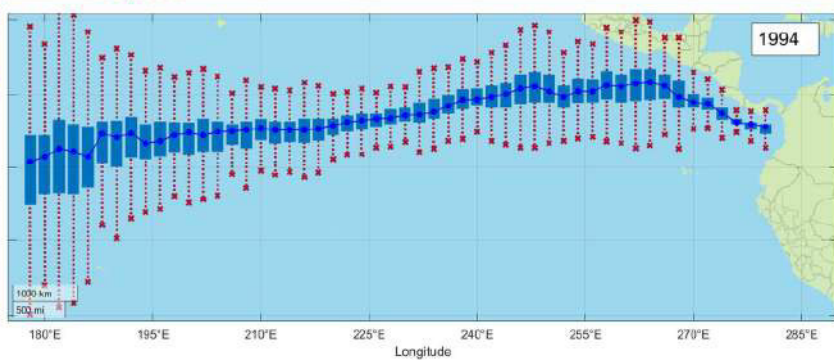
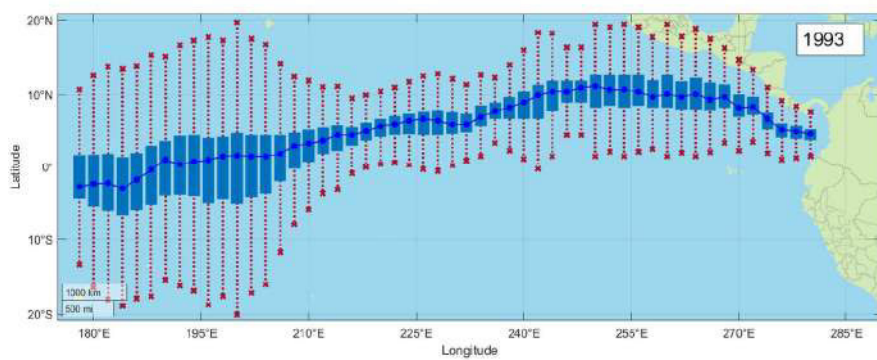
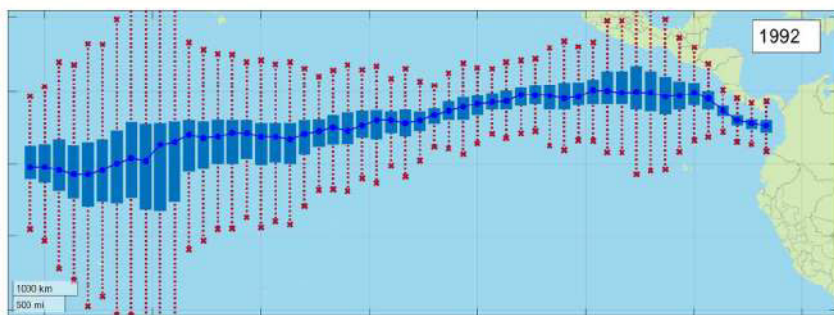
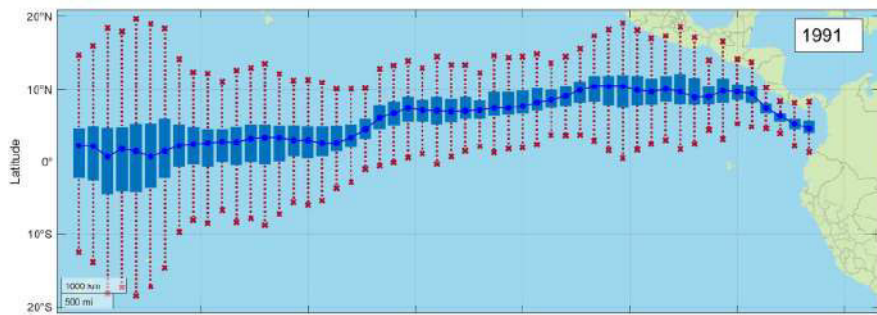
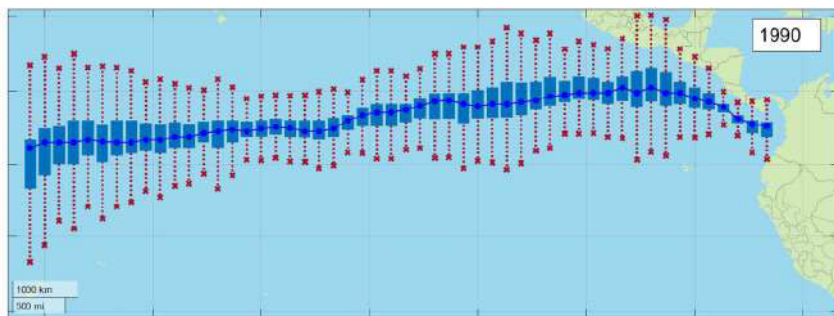
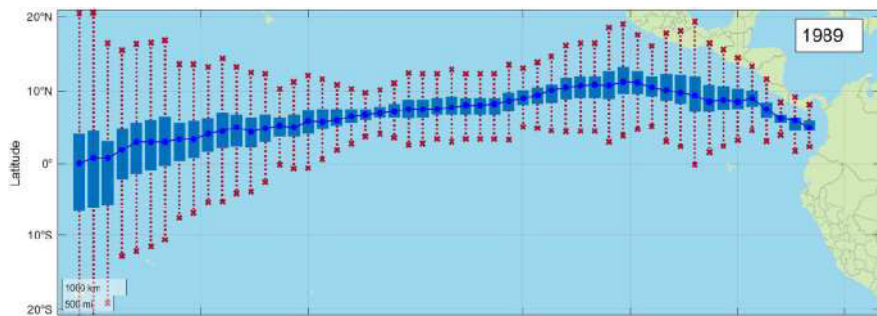


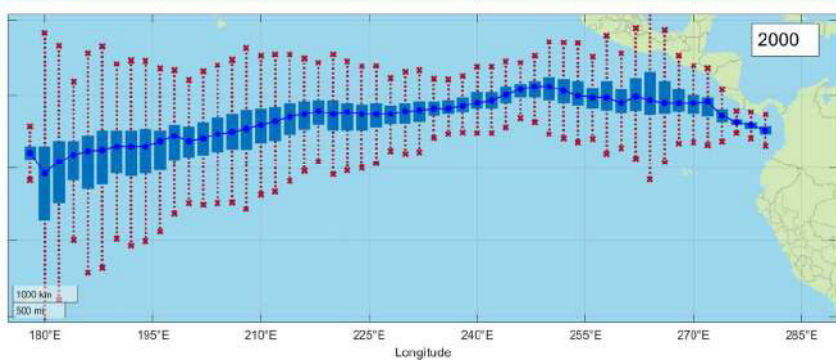
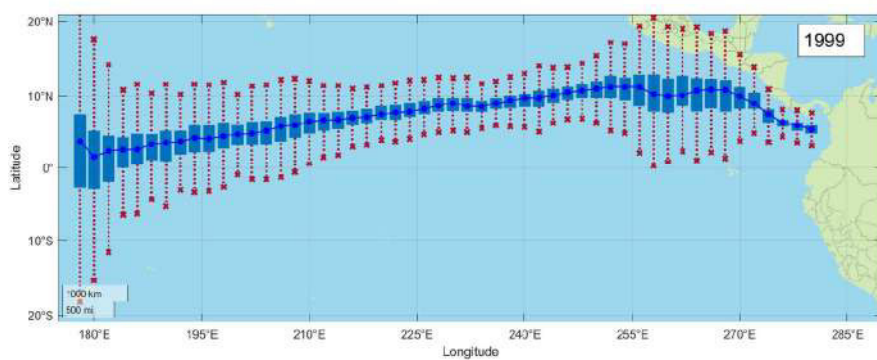
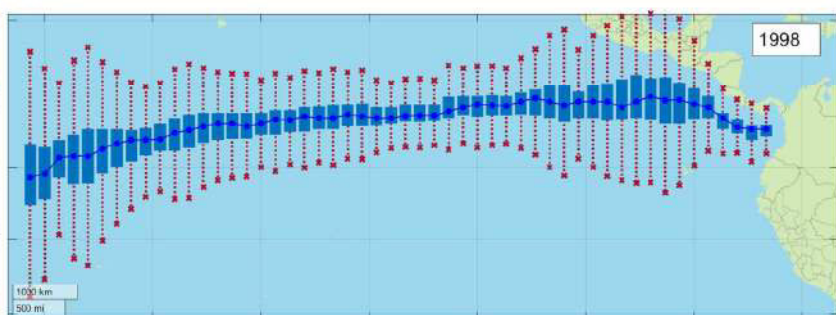
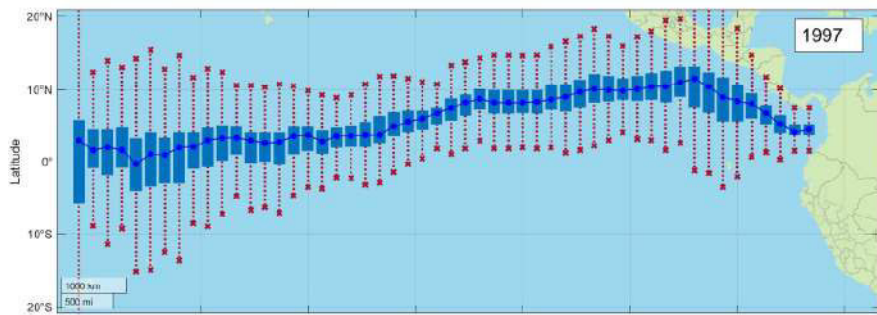
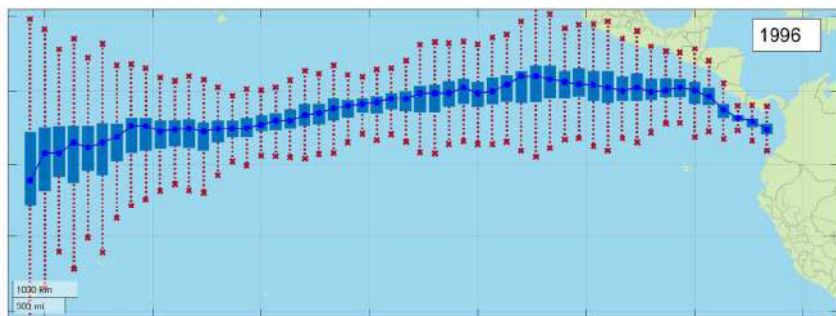
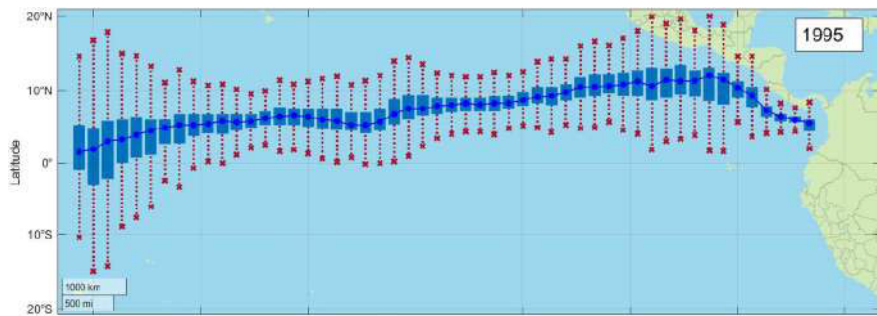


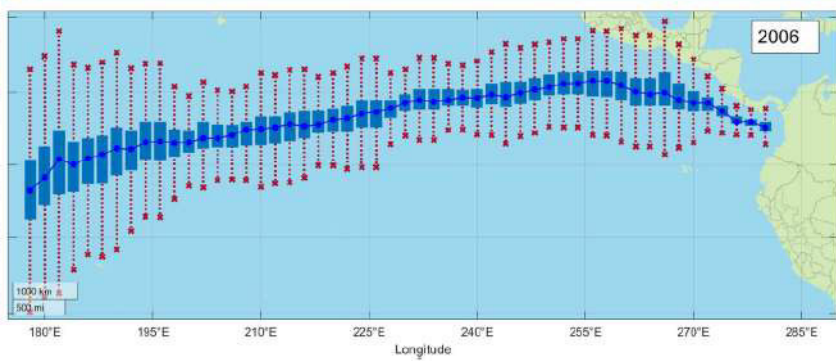
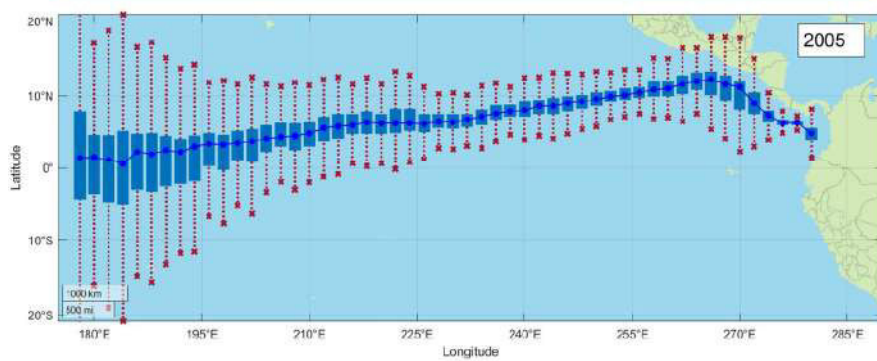
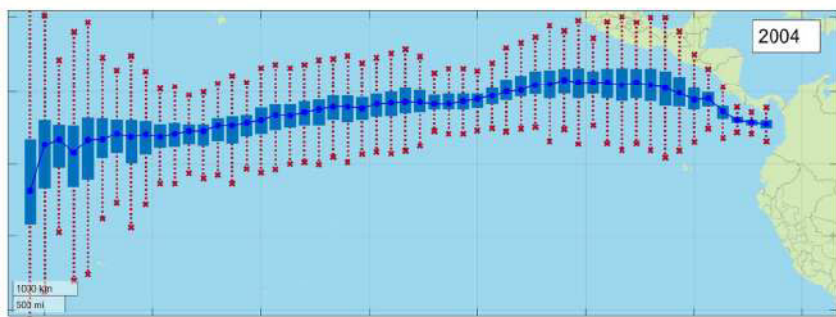
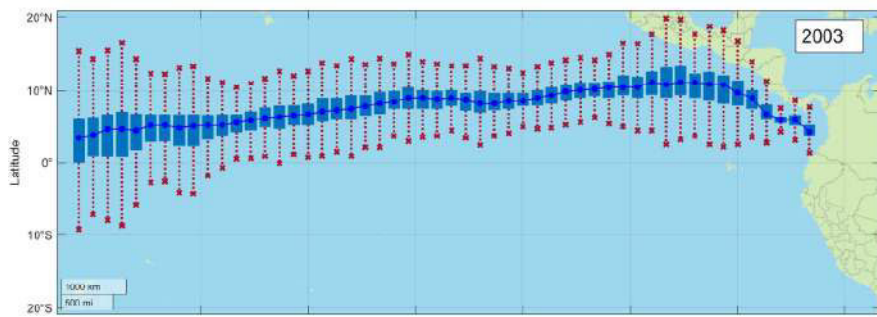
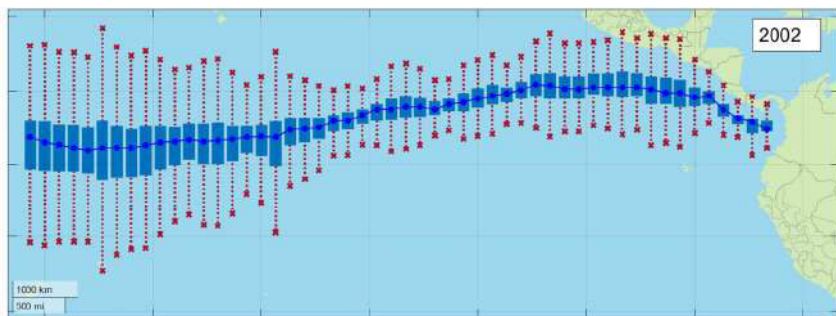
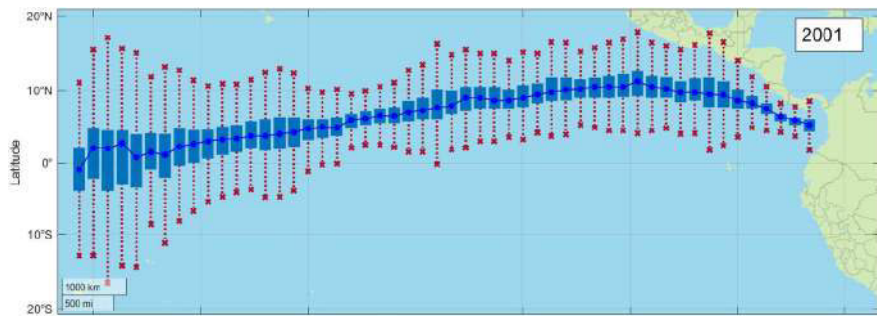
JUNIO:

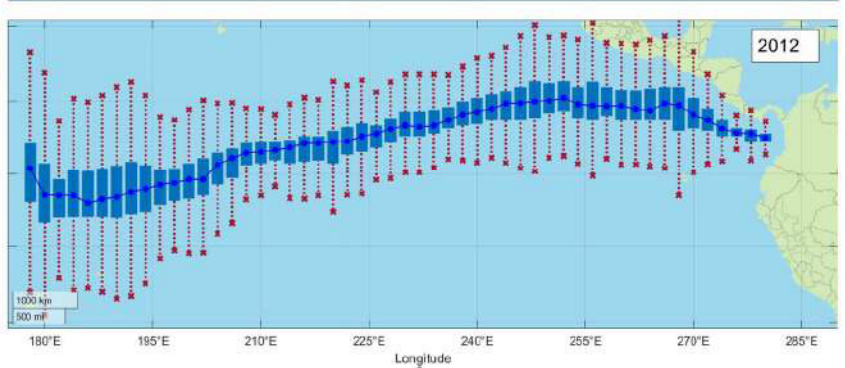
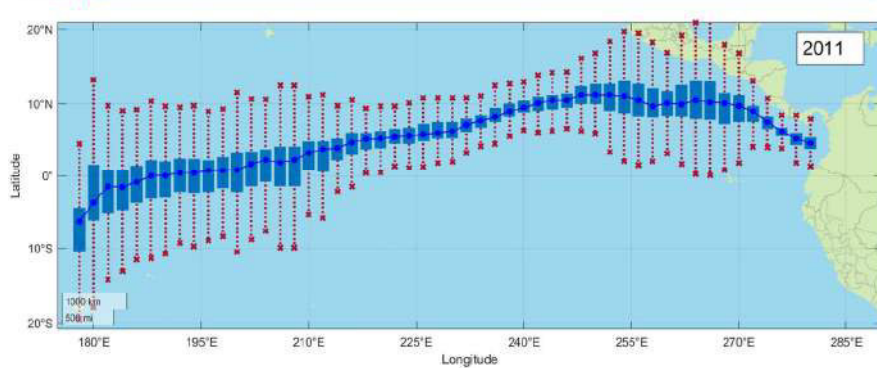
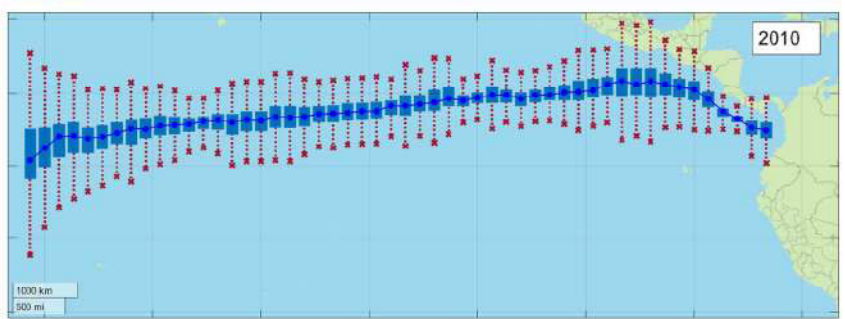
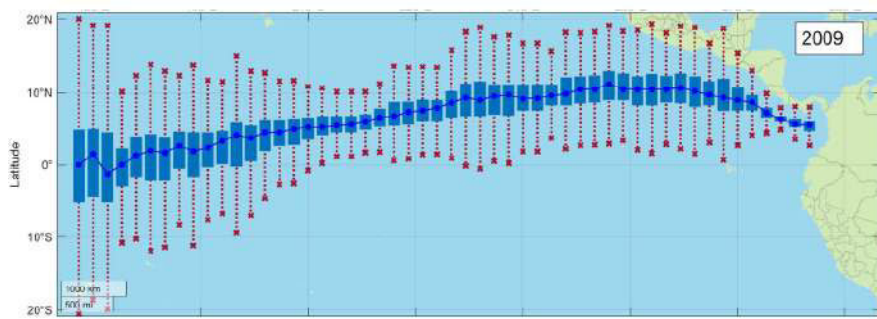
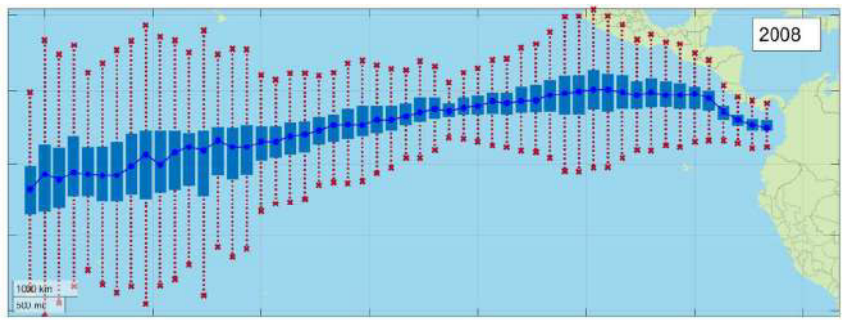
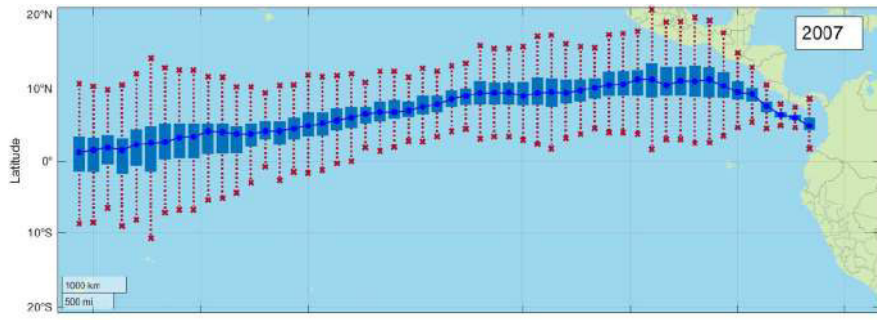


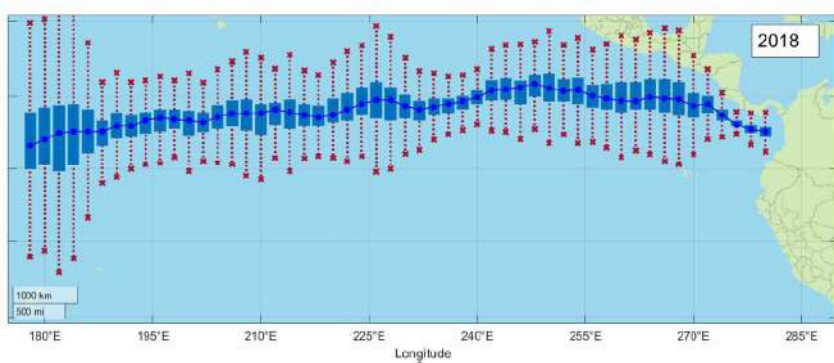
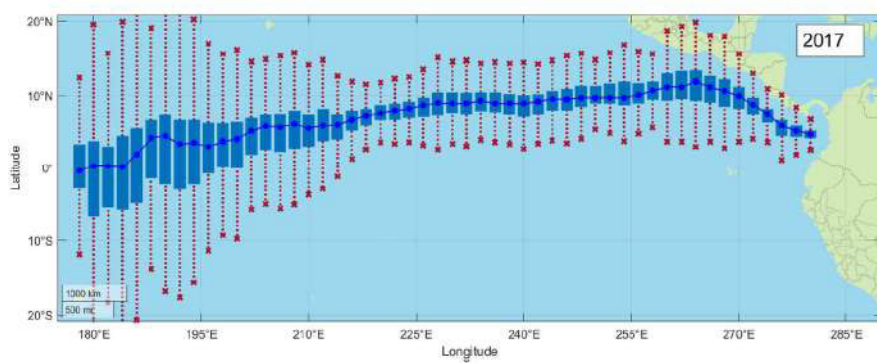
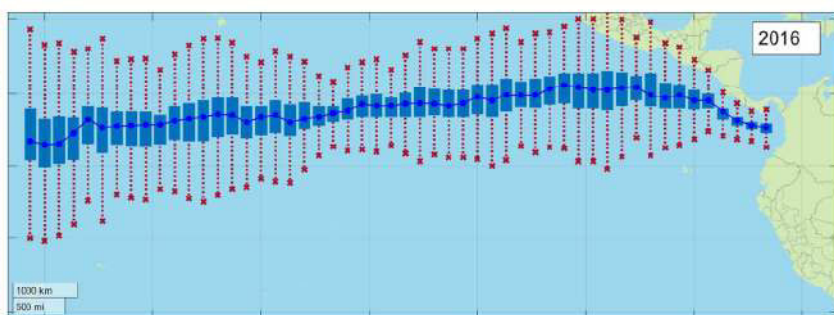
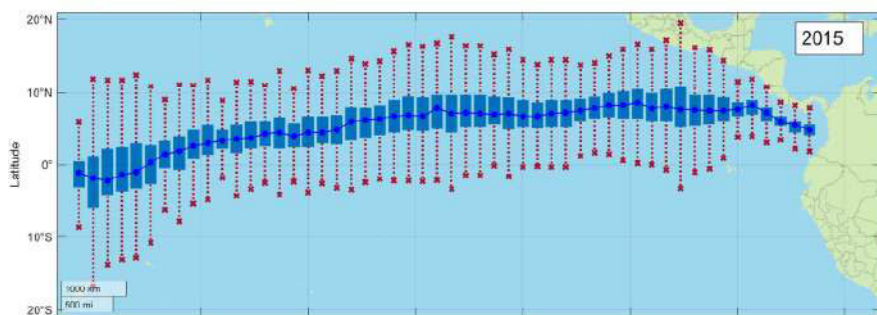
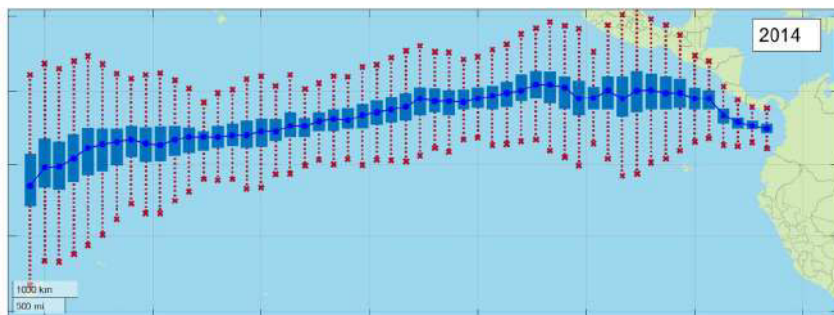
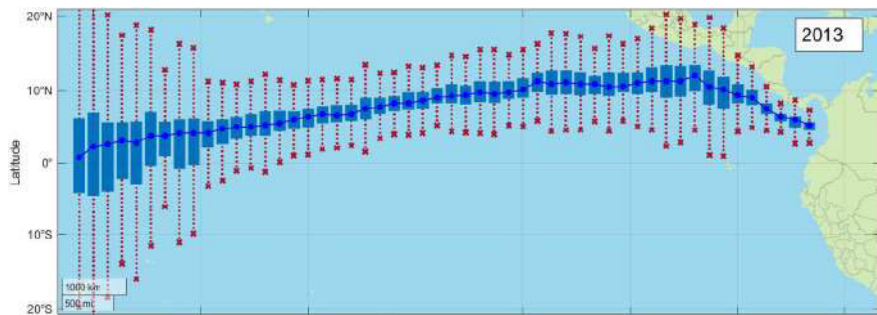


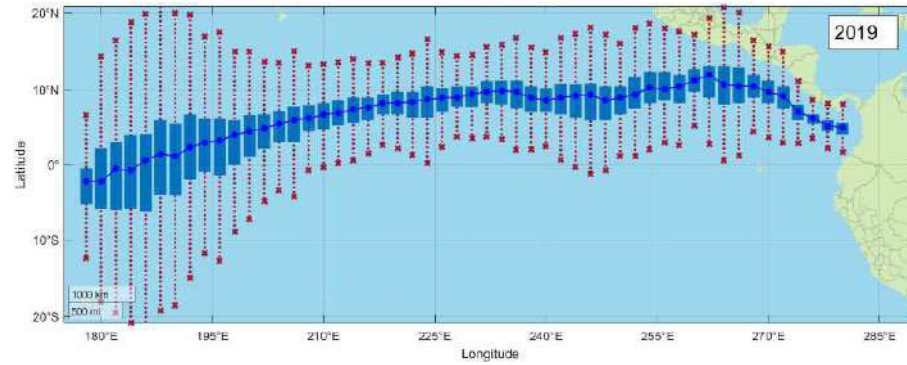




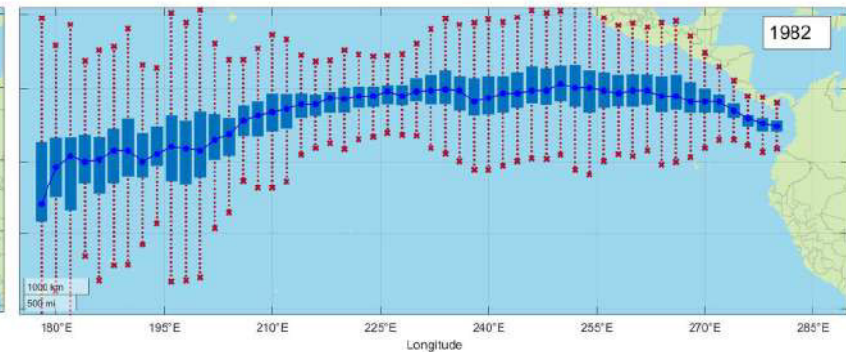
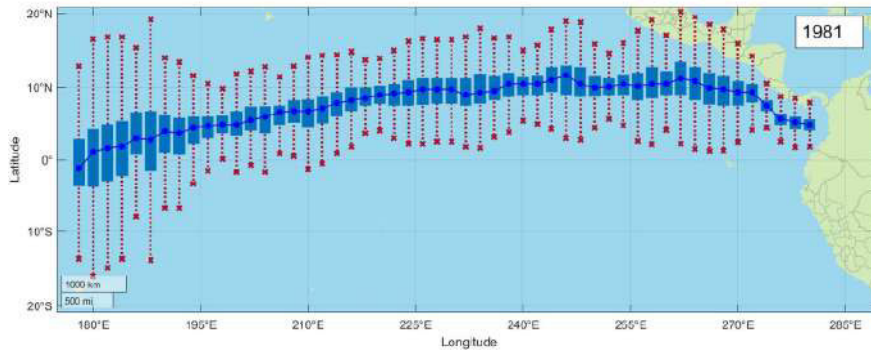
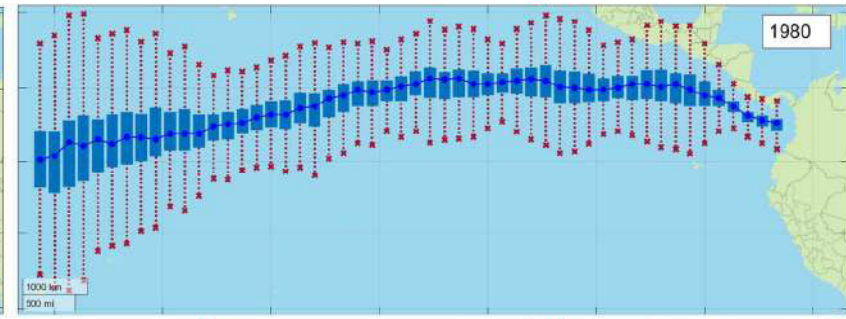
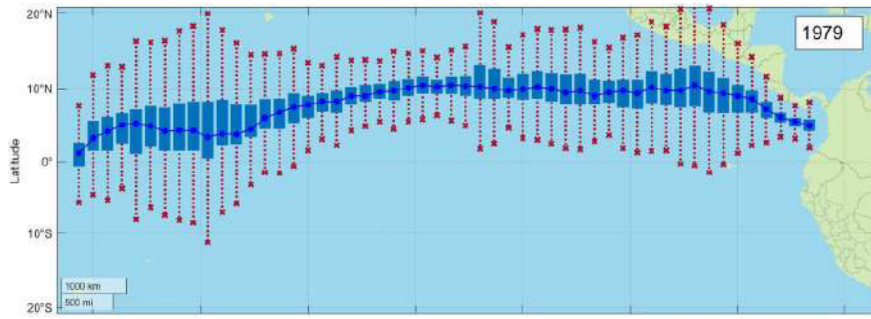


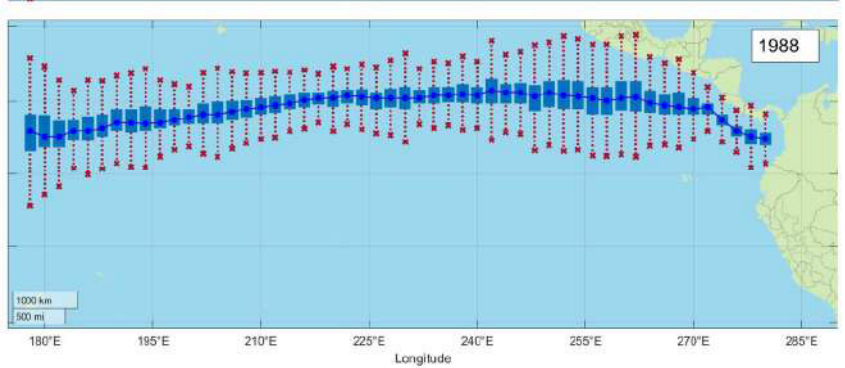
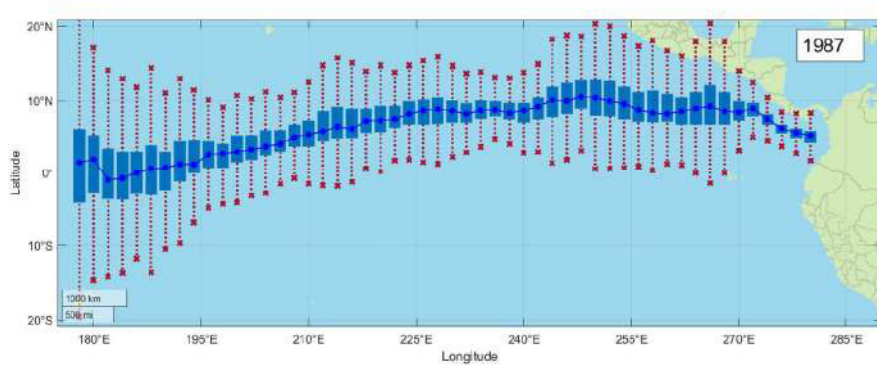
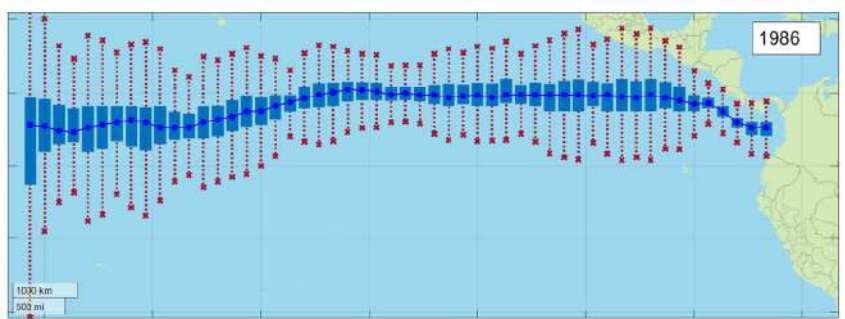
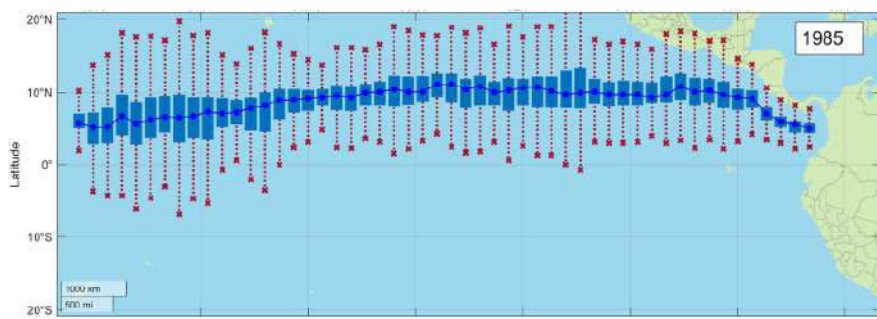
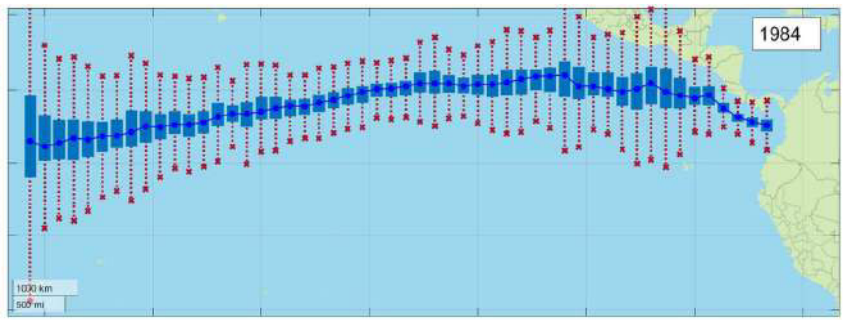
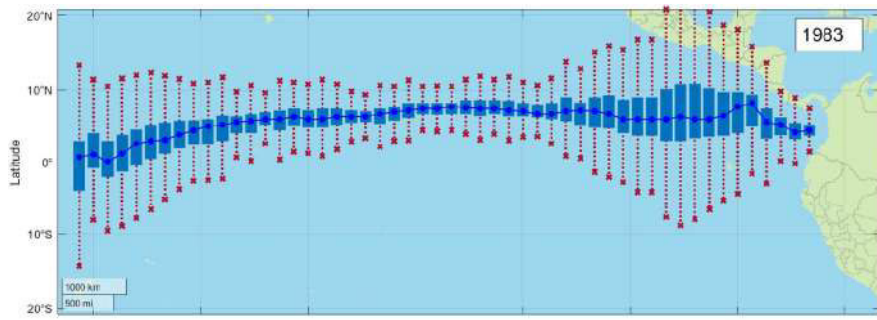


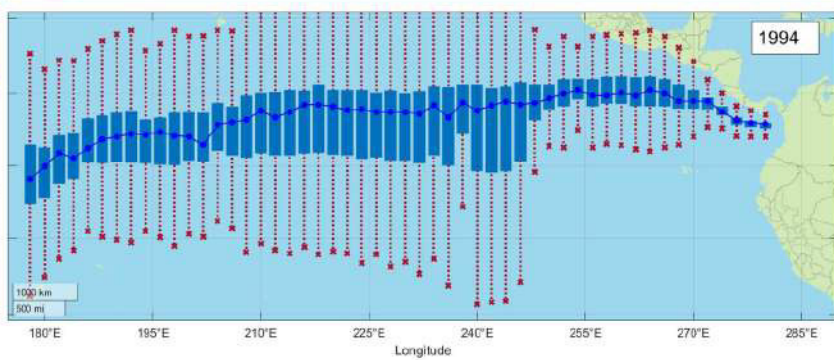
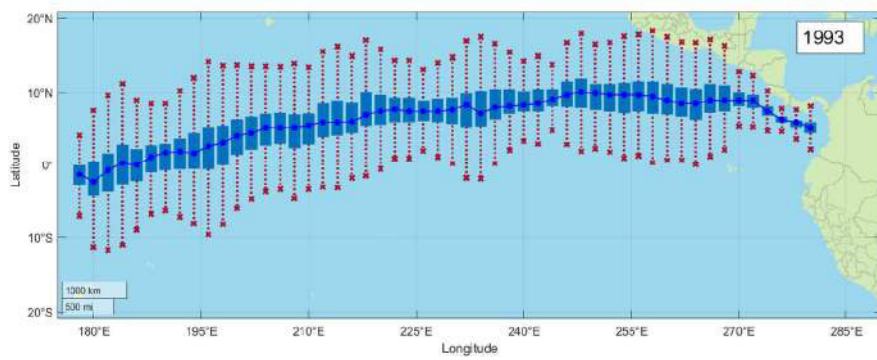
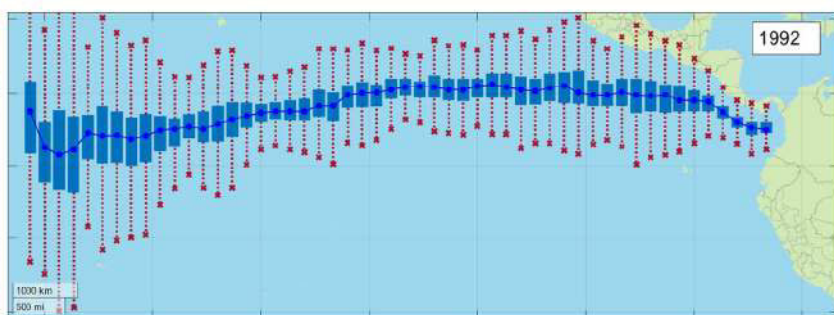
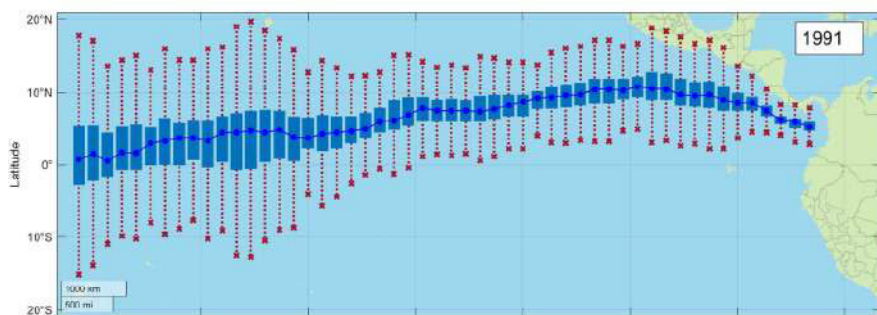
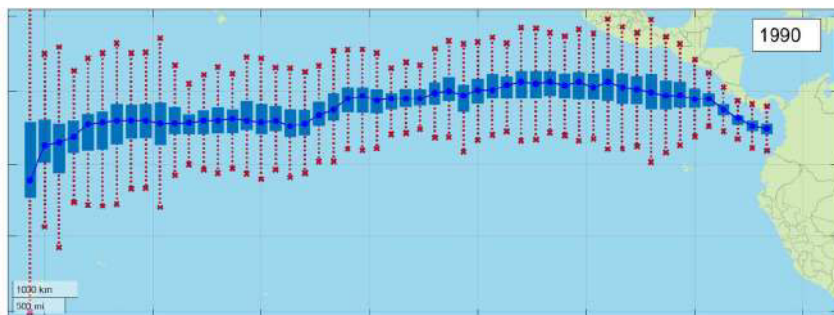
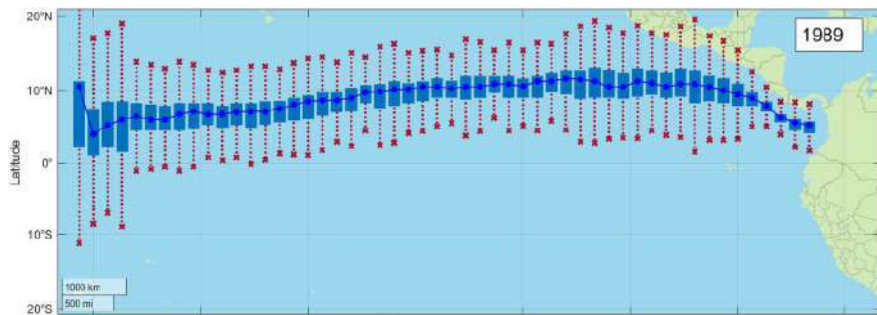


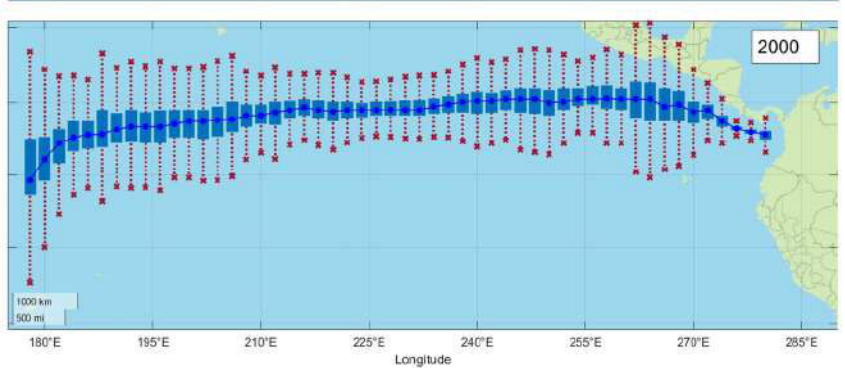
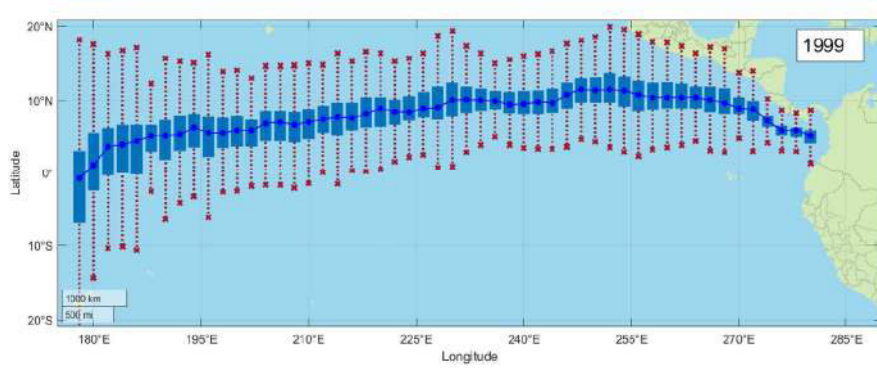
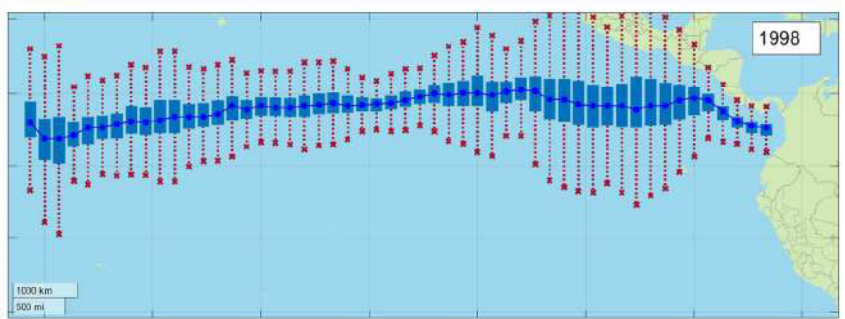
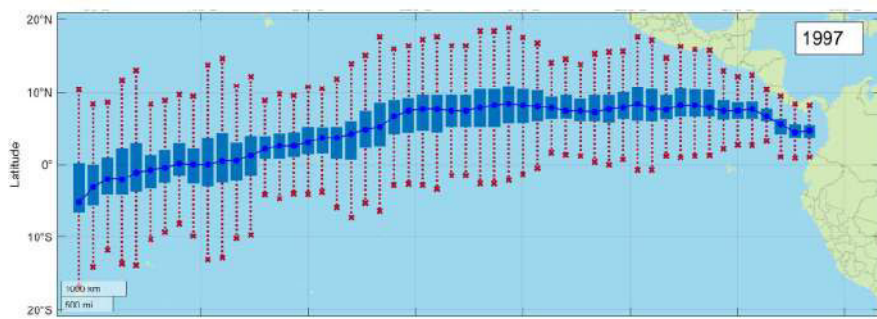
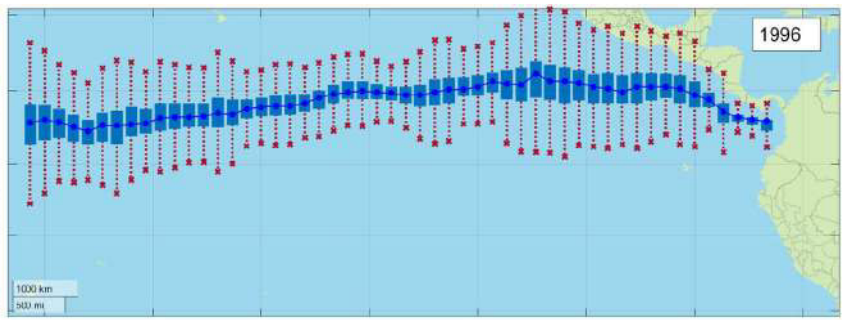
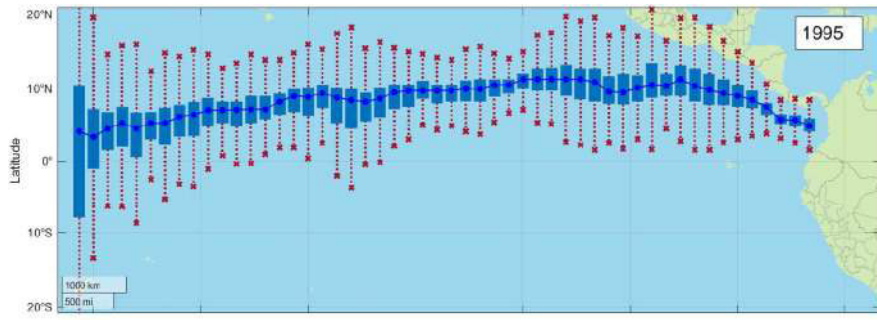


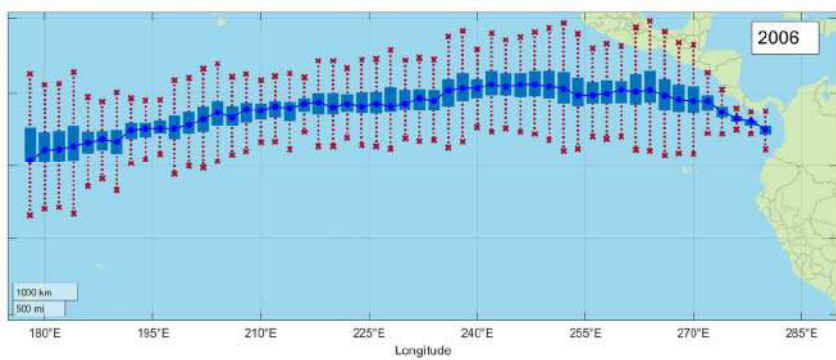
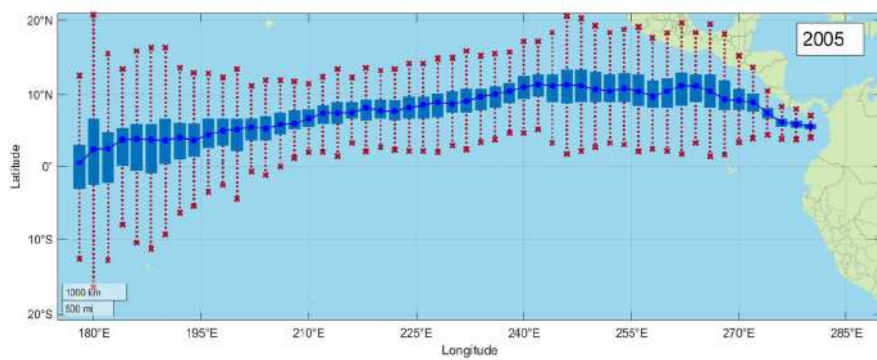
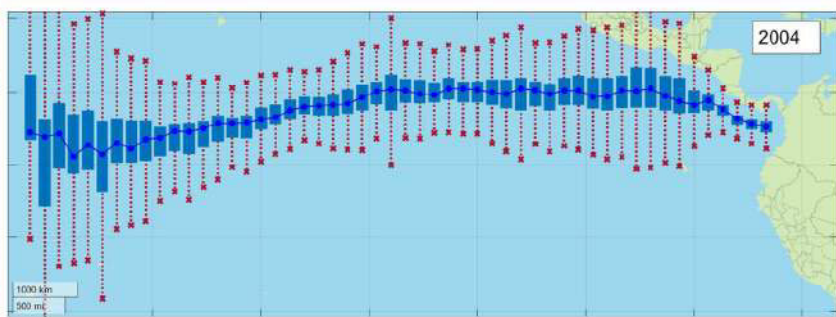
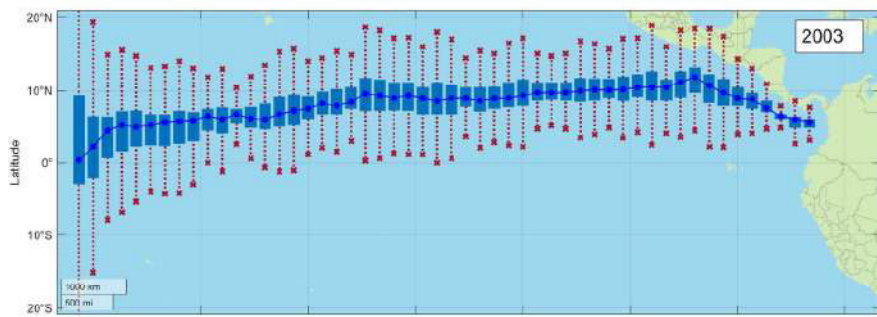
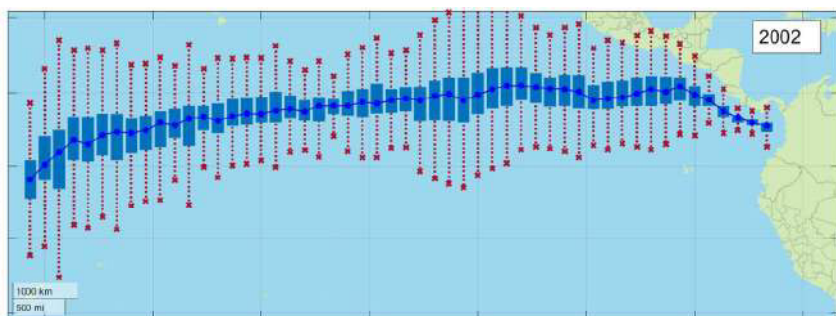
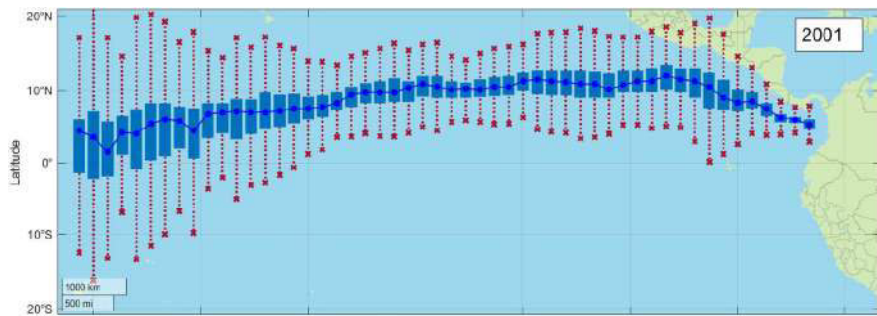
JULIO:

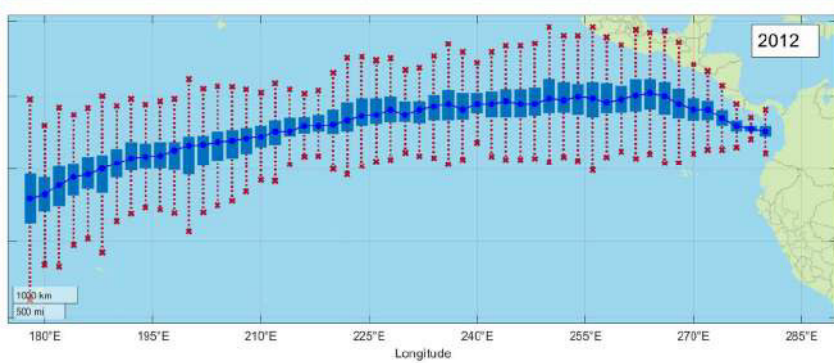
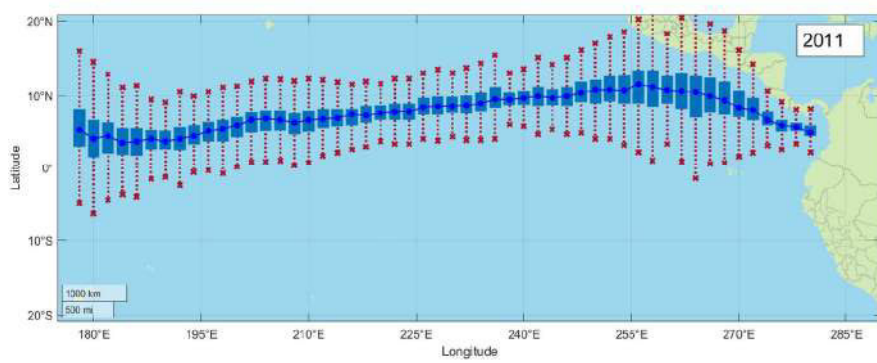
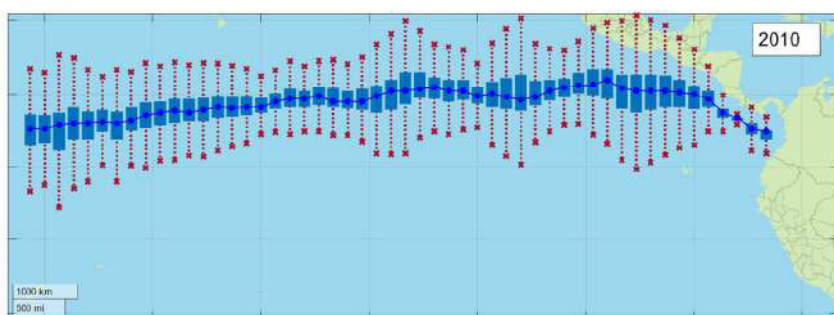
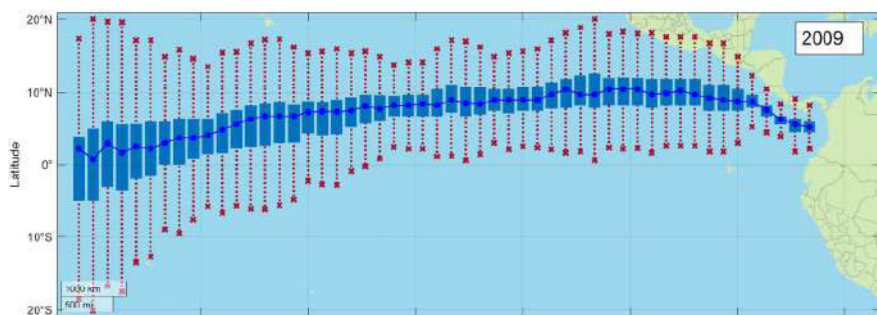
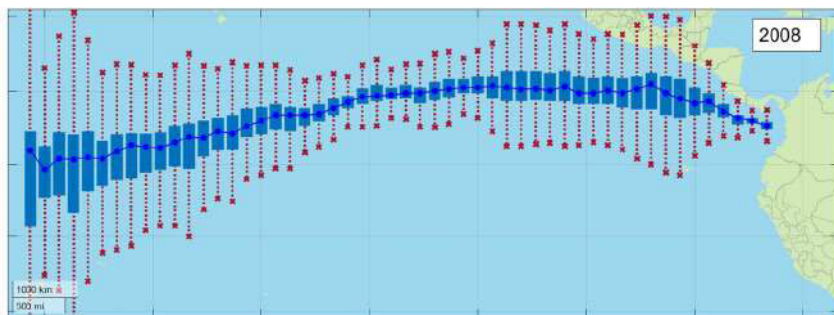
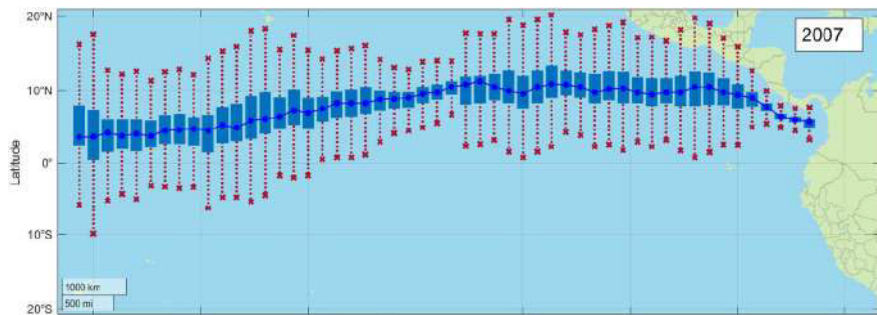


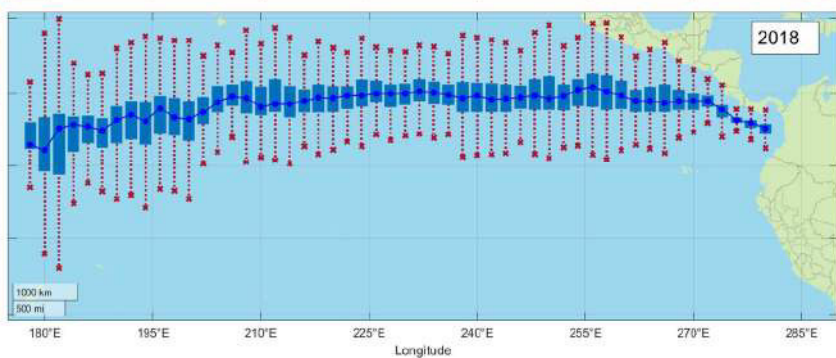
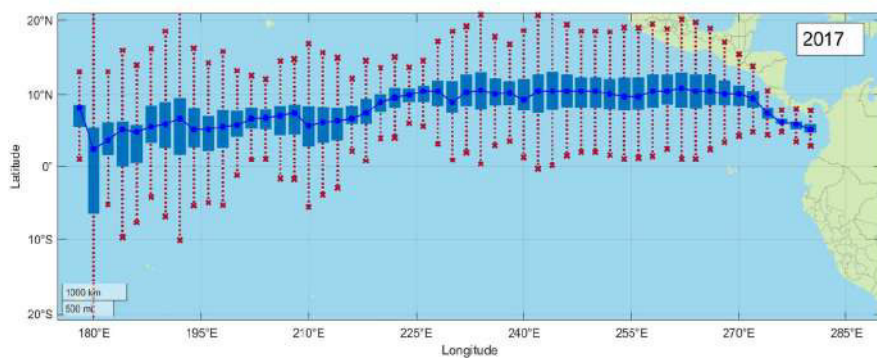
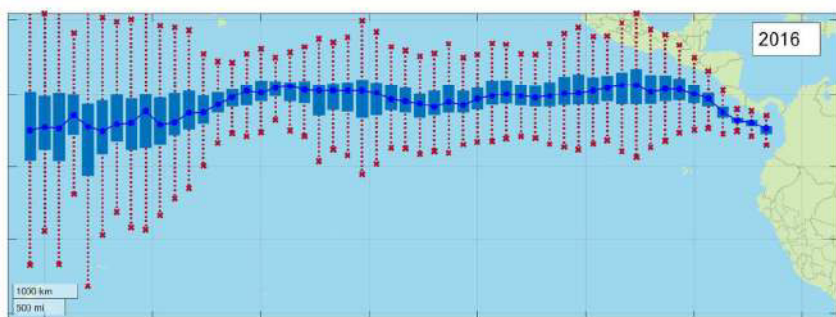
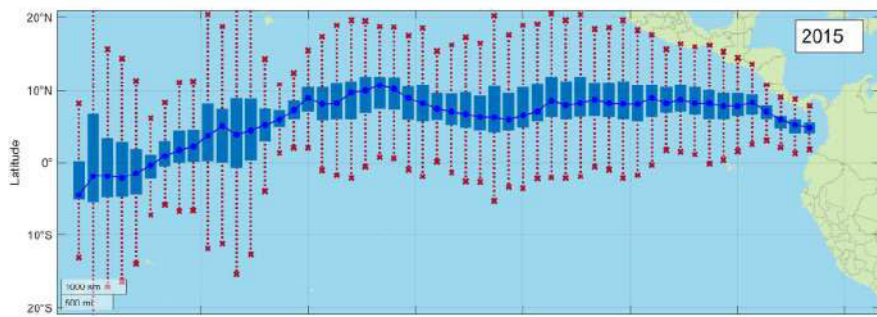
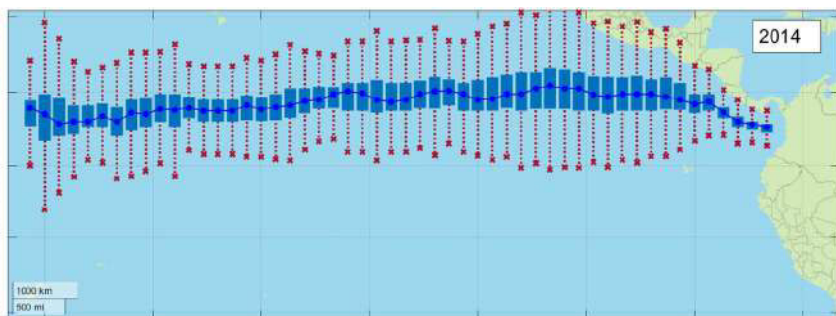
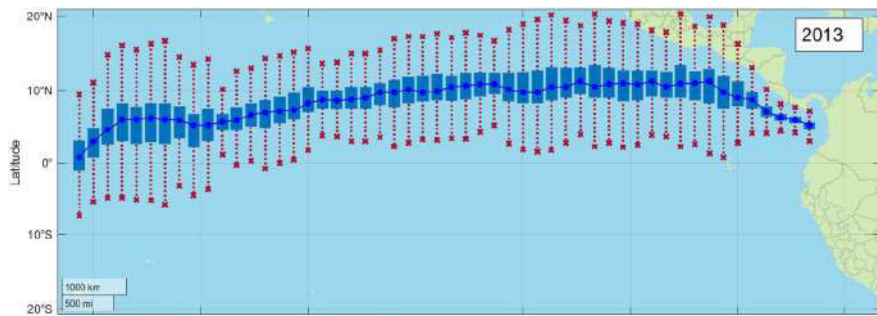




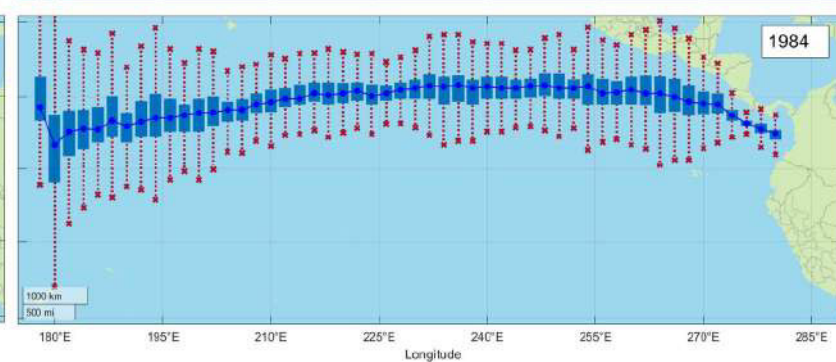
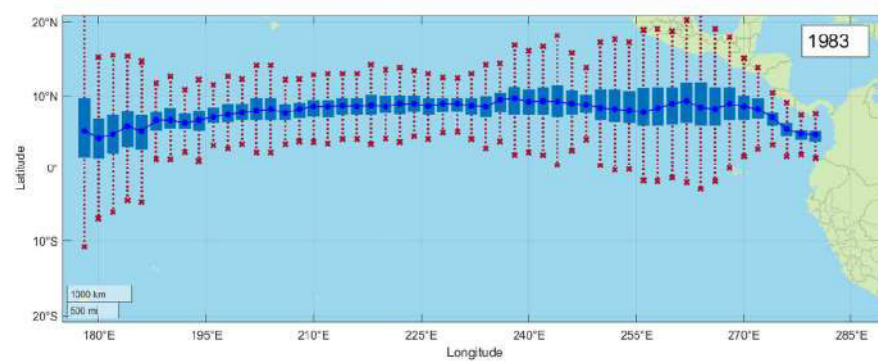
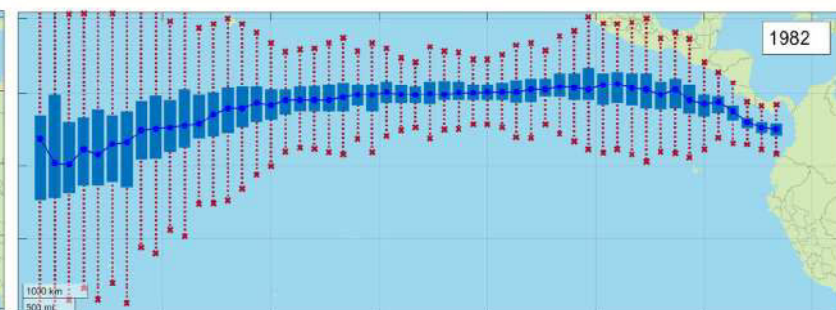
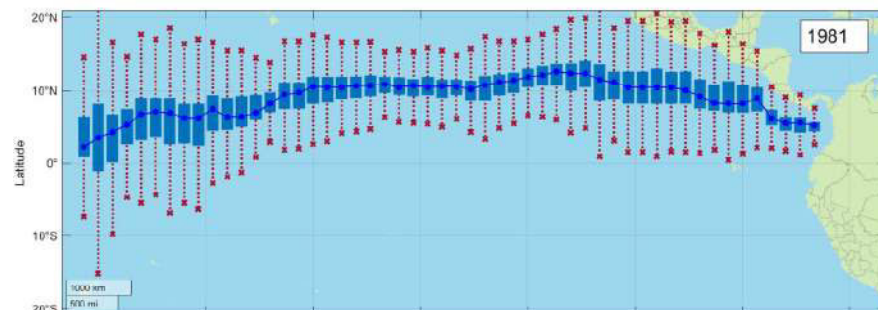
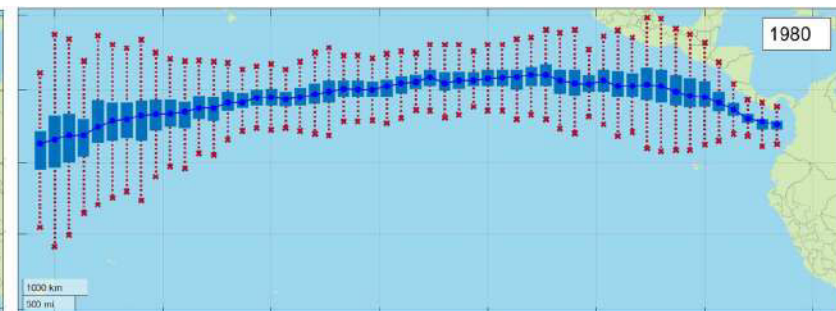
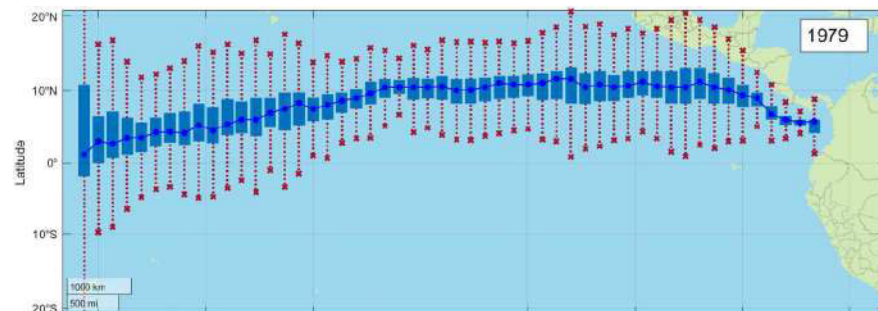


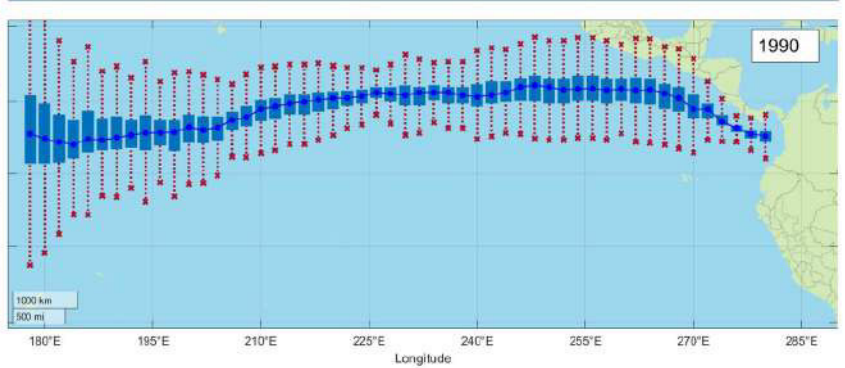
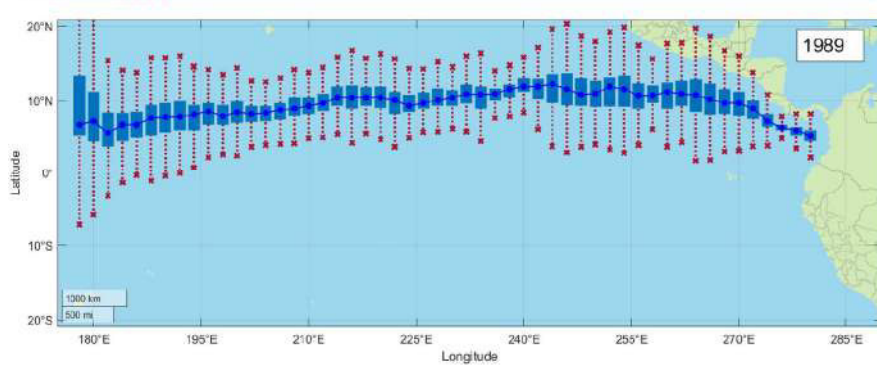
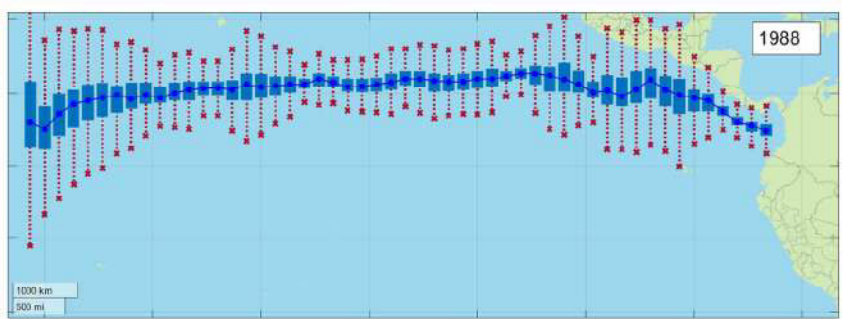
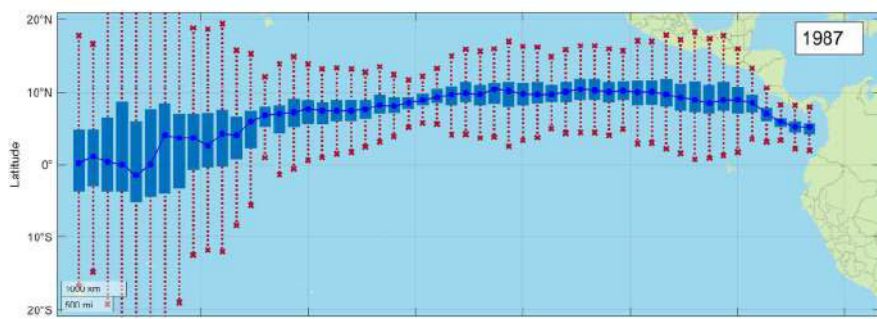
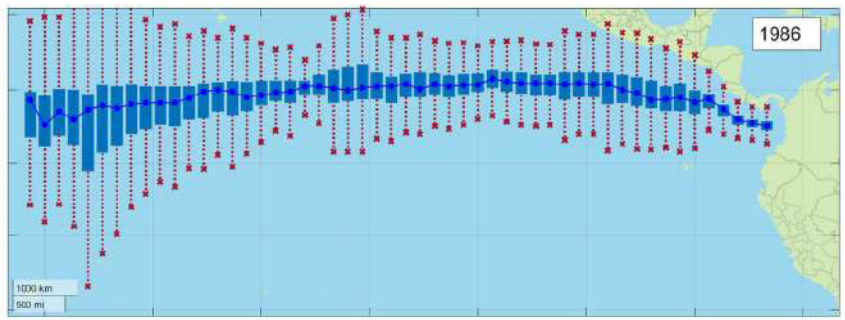
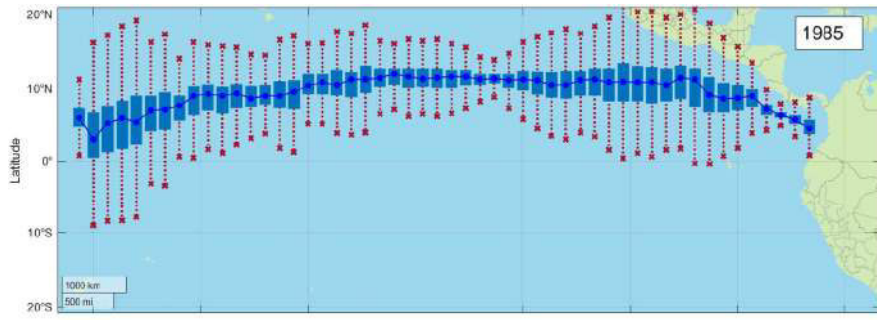


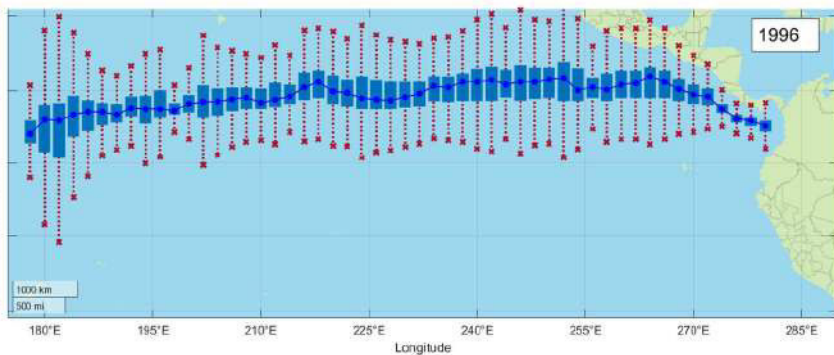
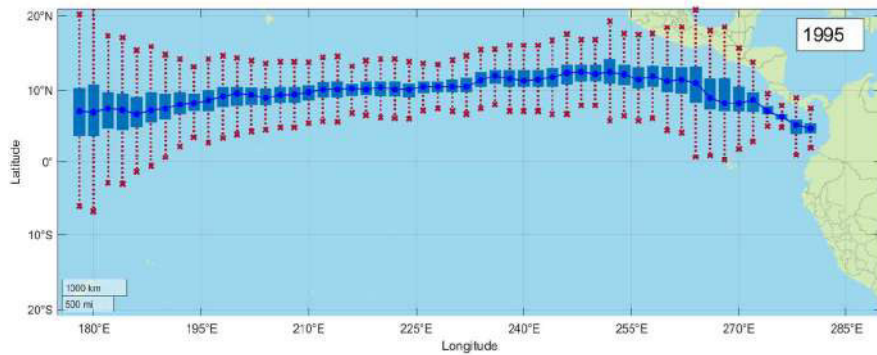
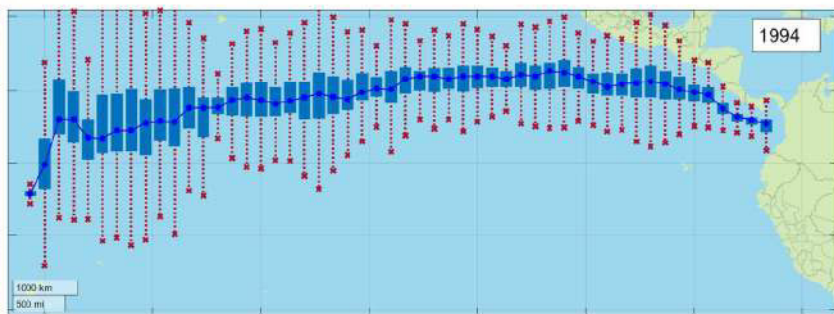
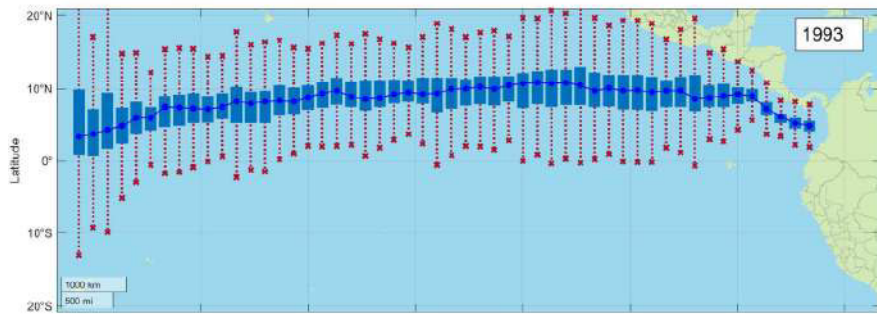
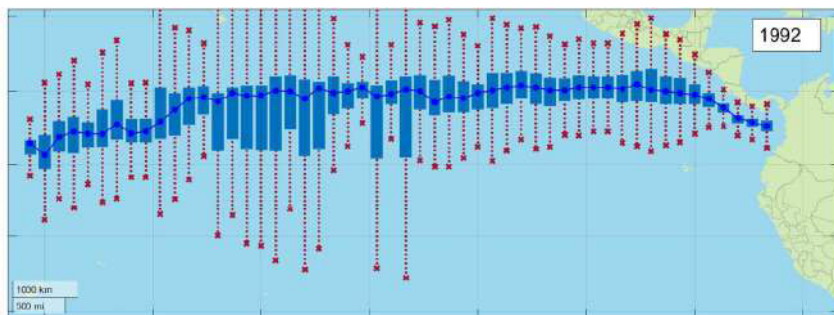
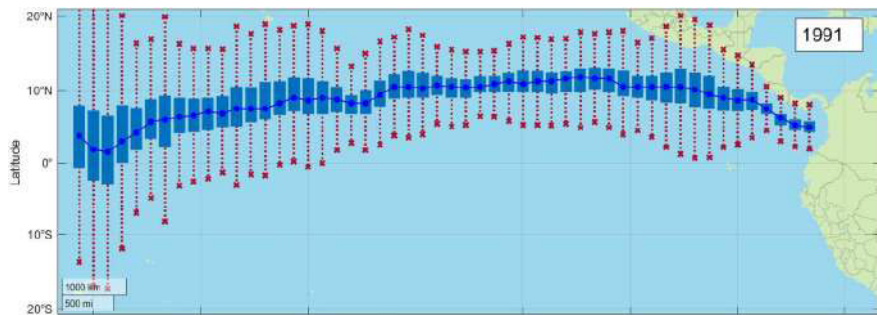


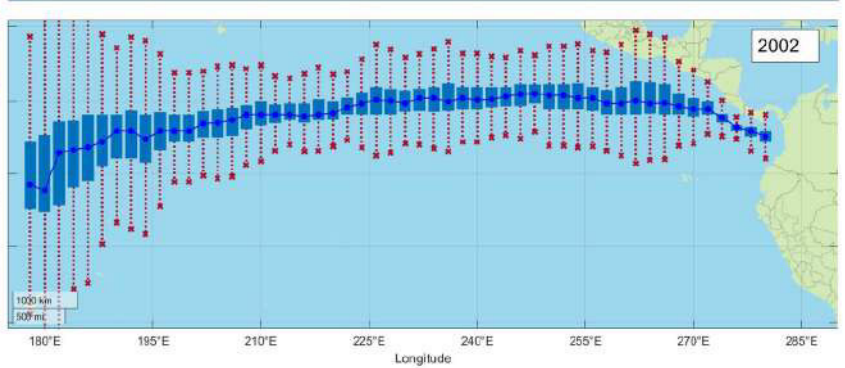
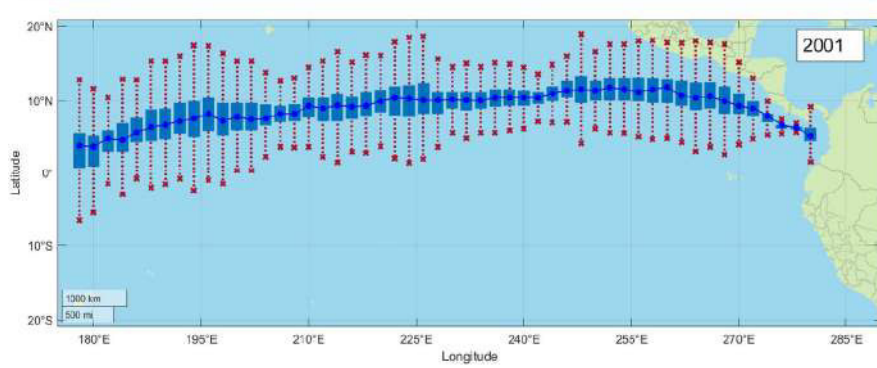
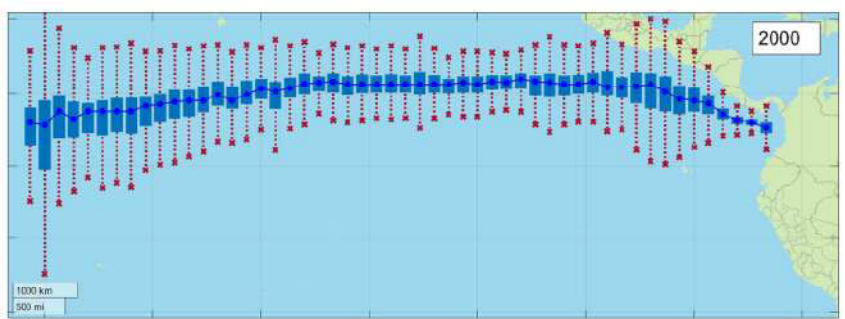
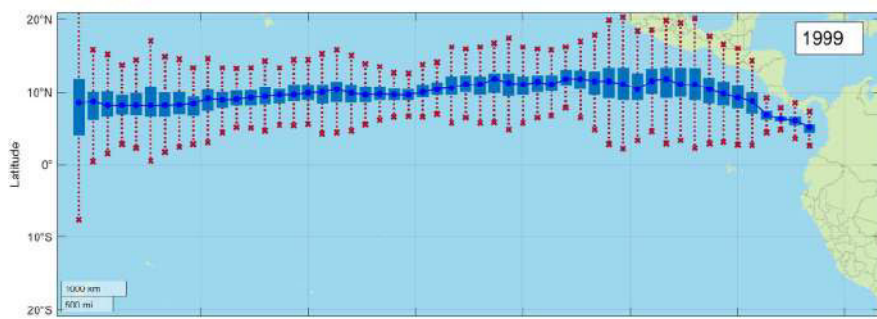
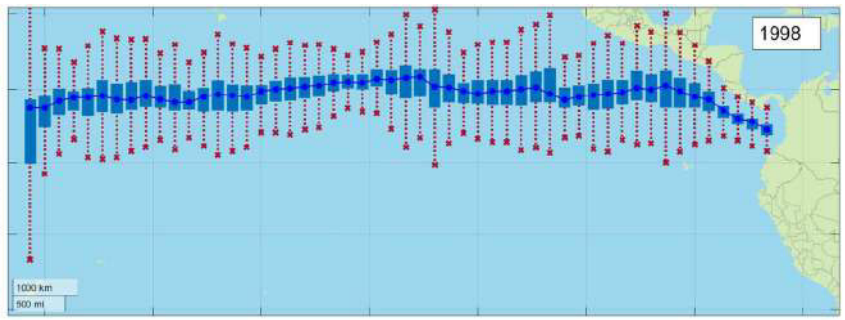
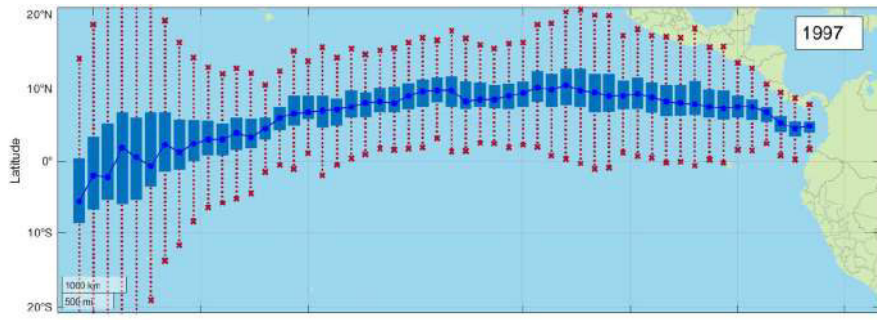


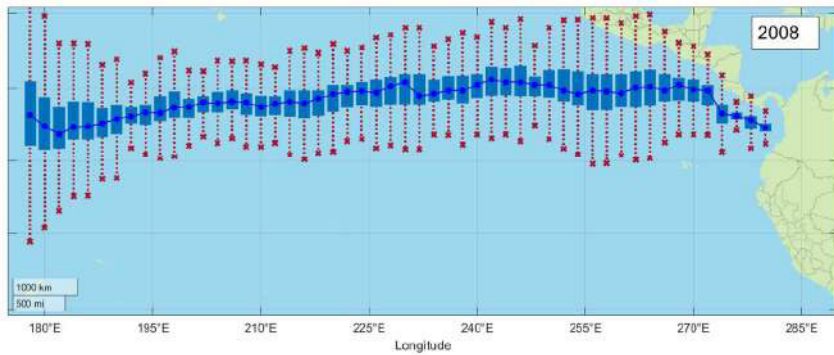
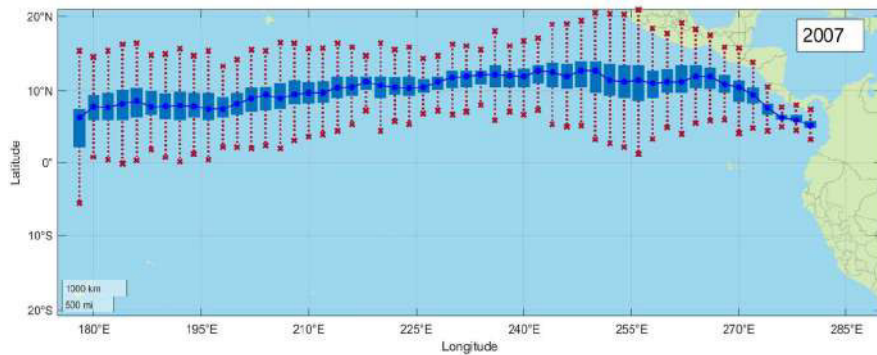
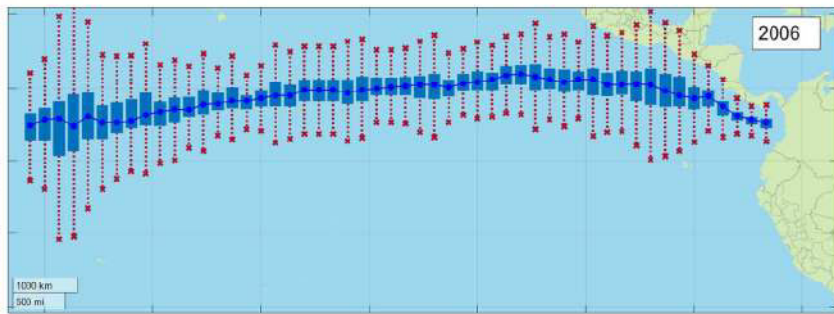
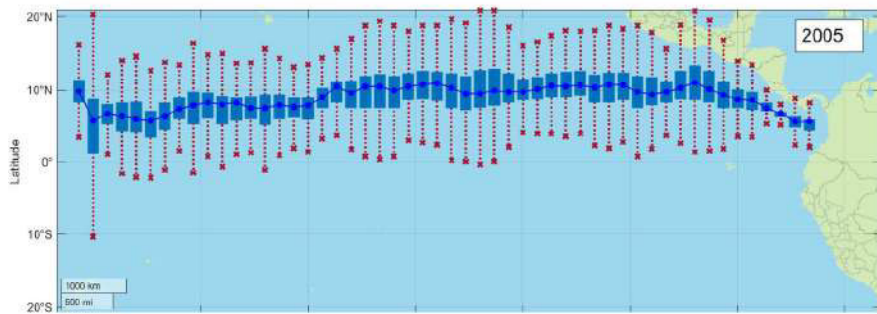
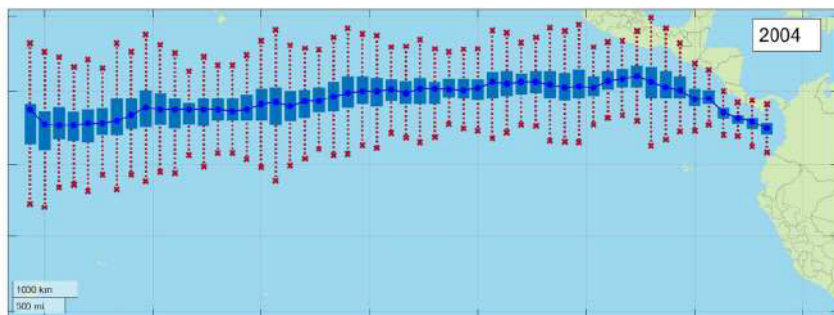
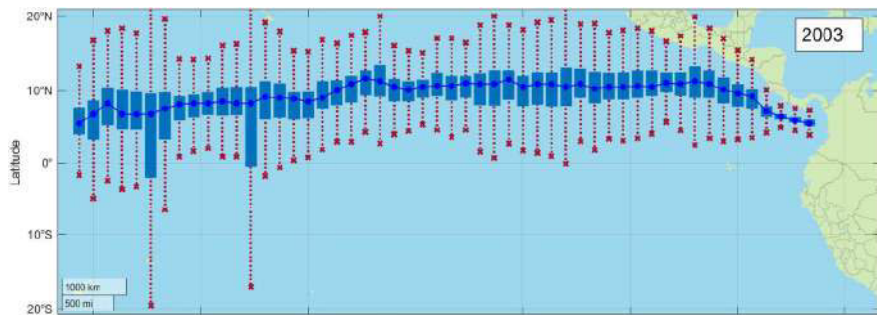
AGOSTO:

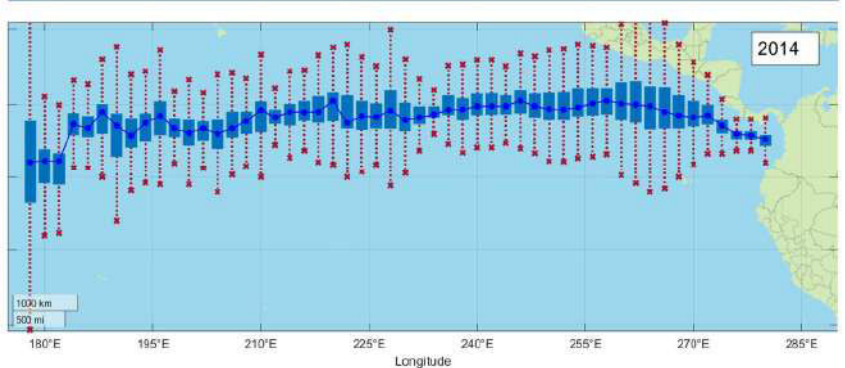
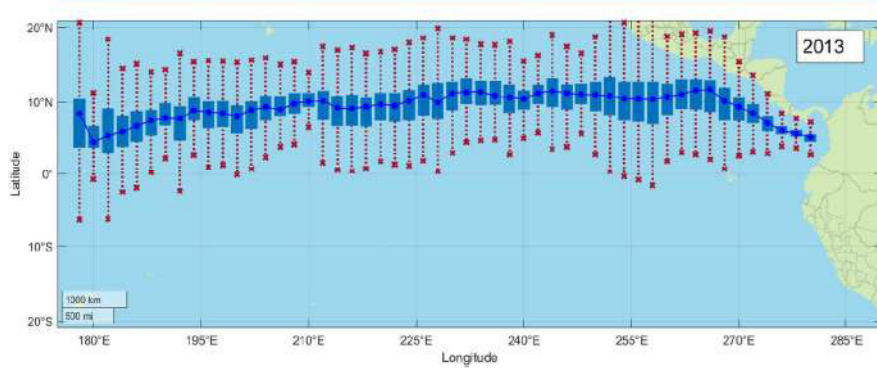
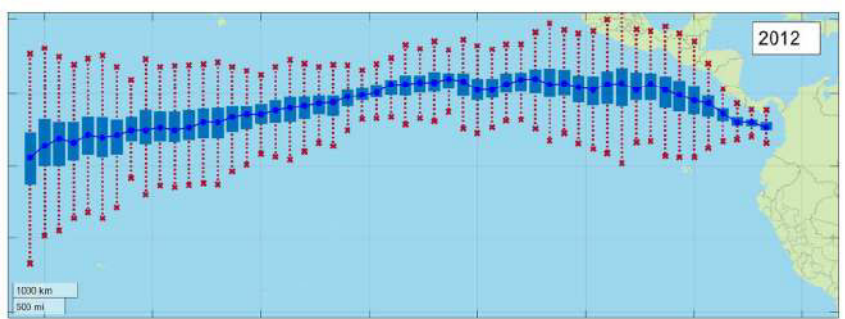
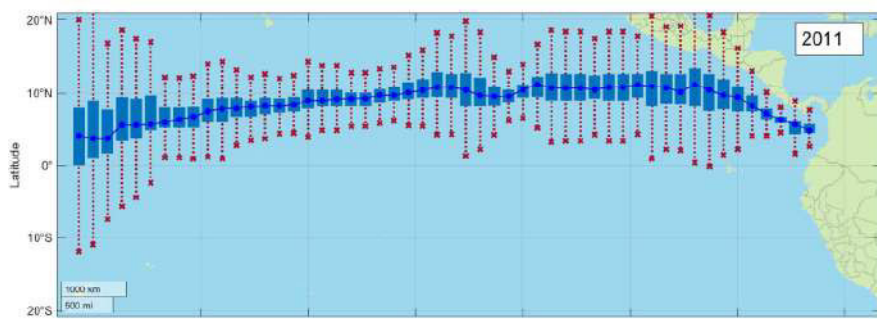
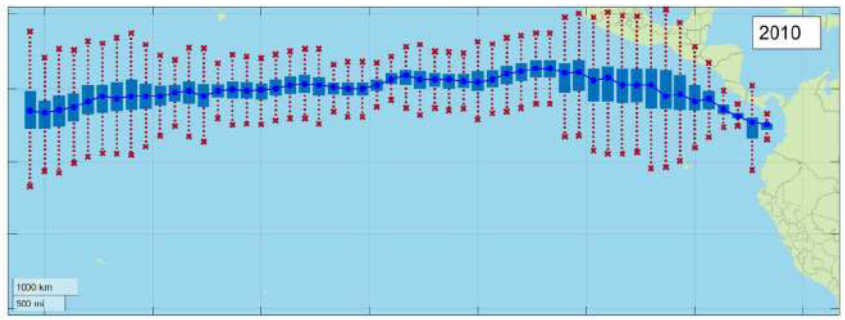
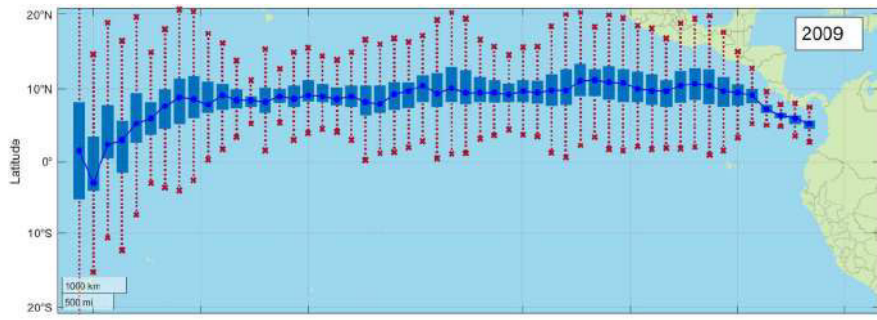


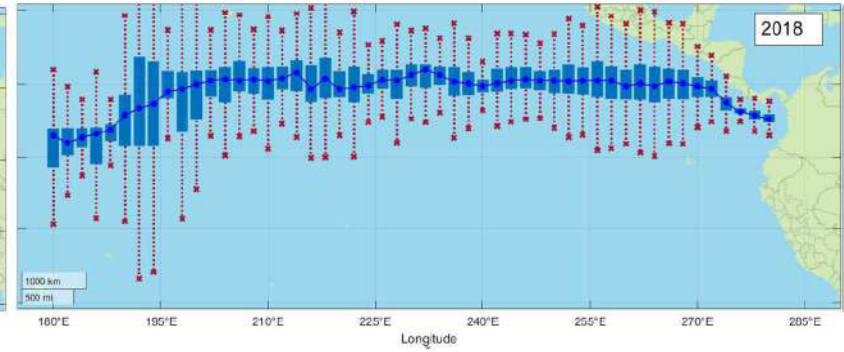
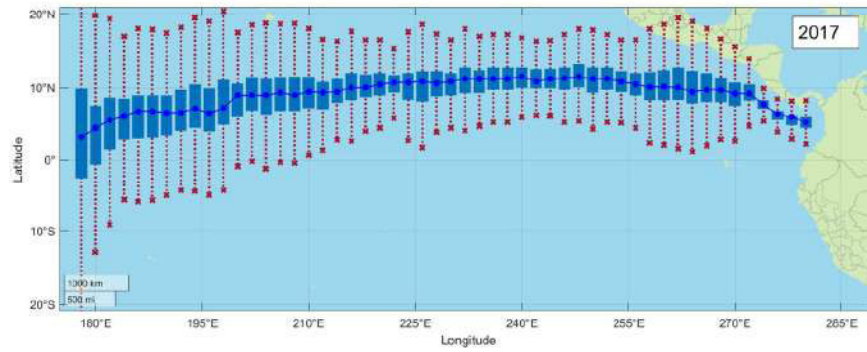
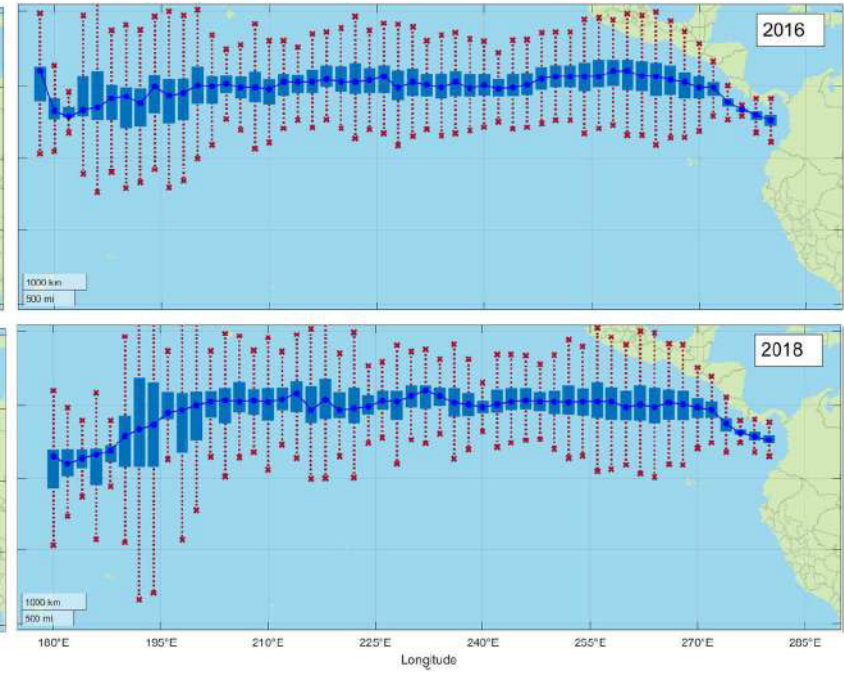
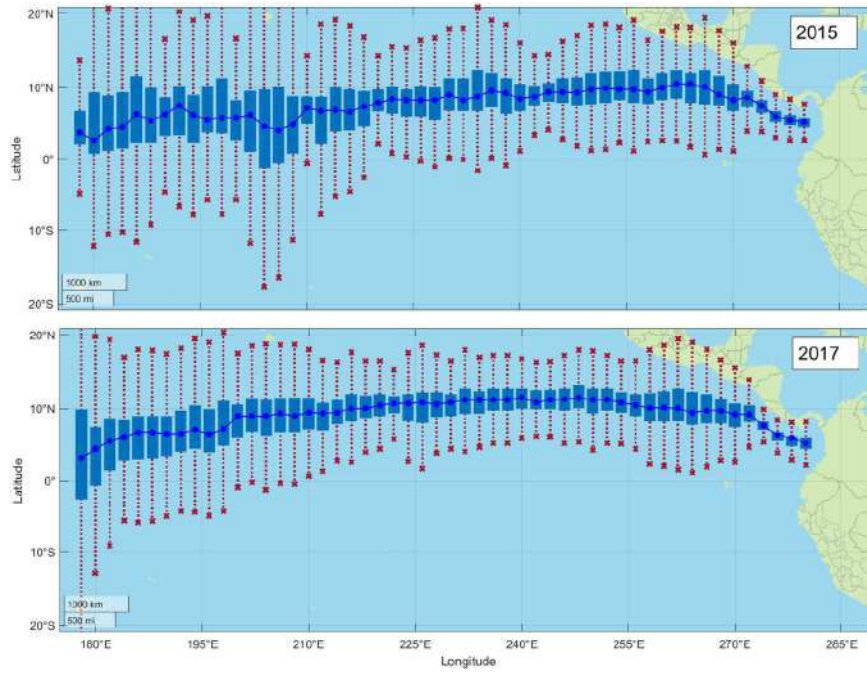




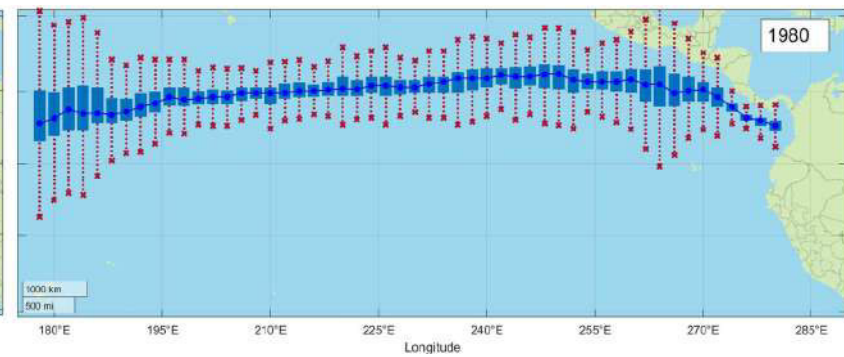
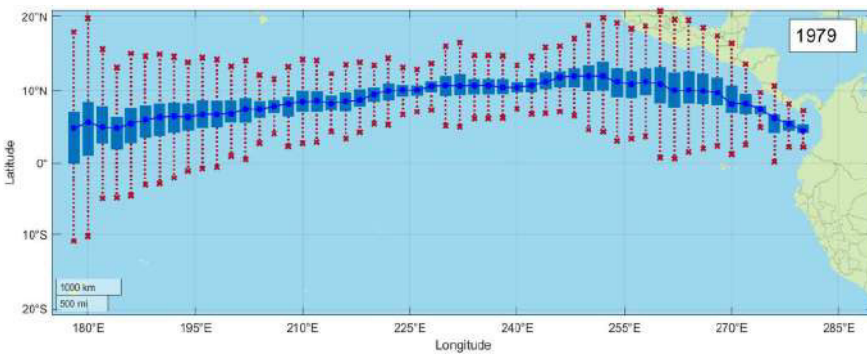


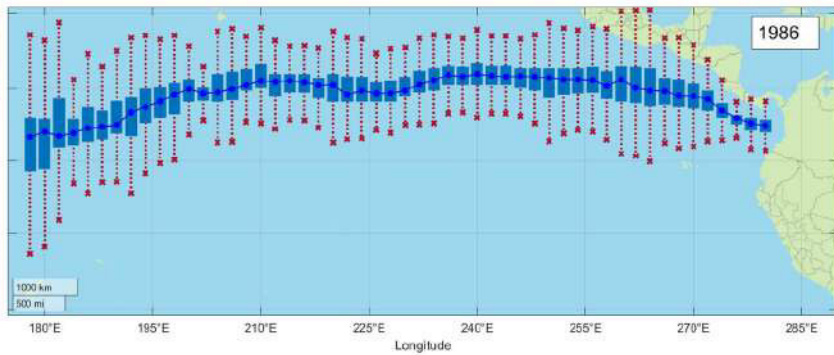
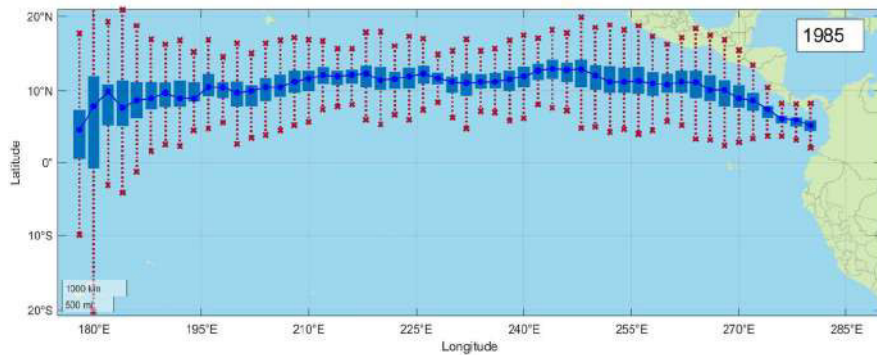
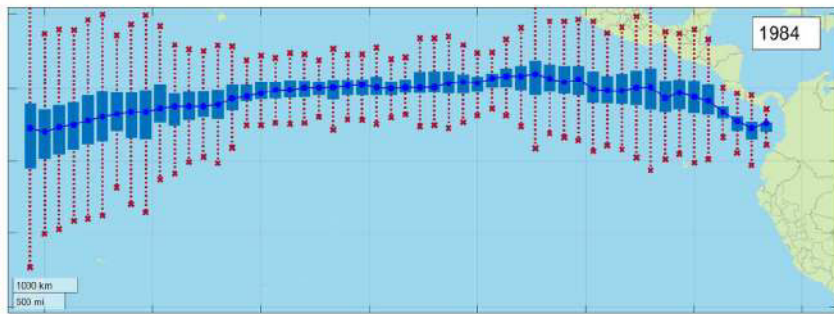
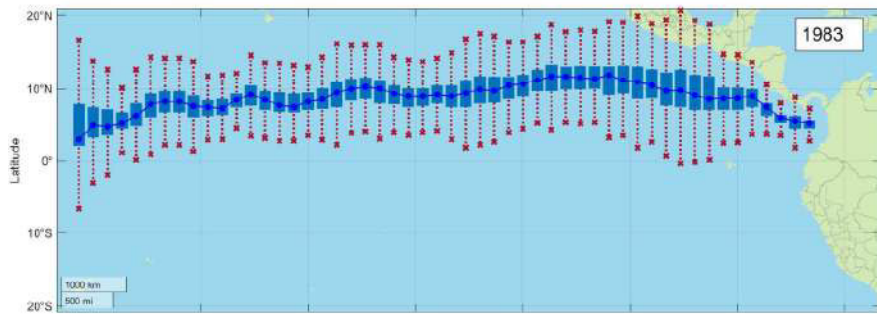
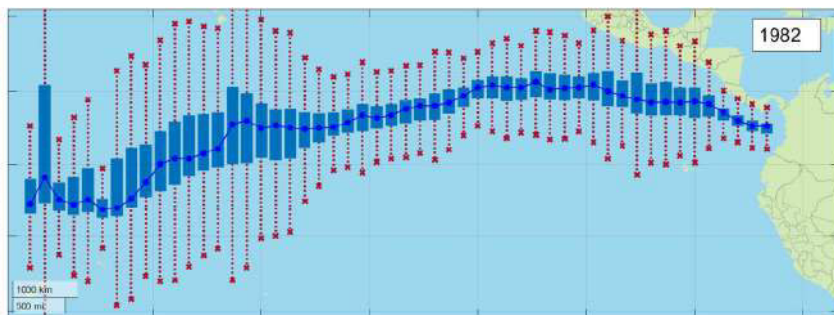
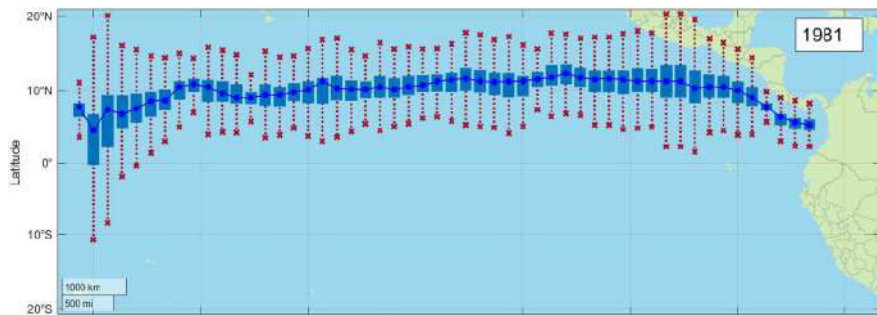


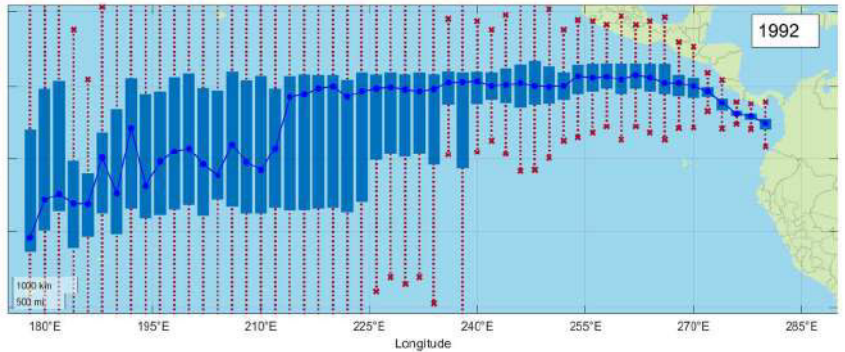
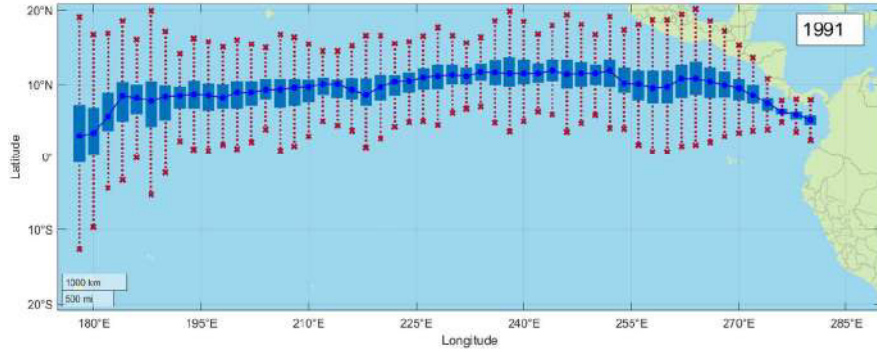
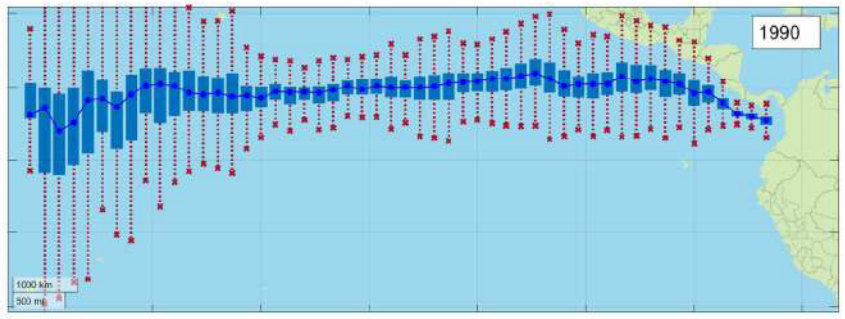
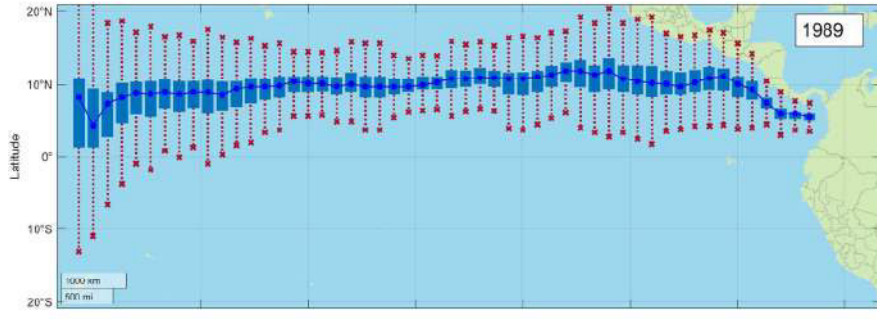
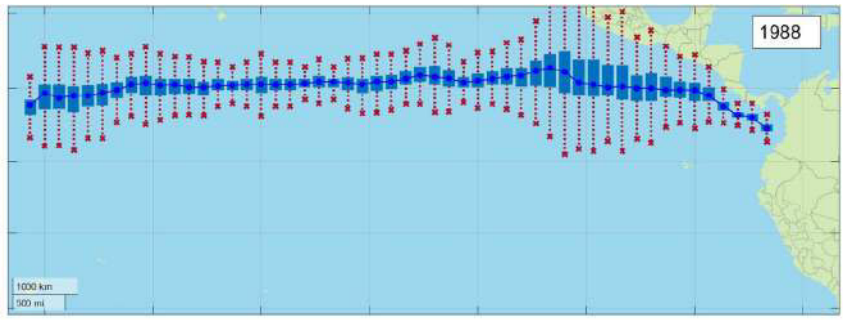
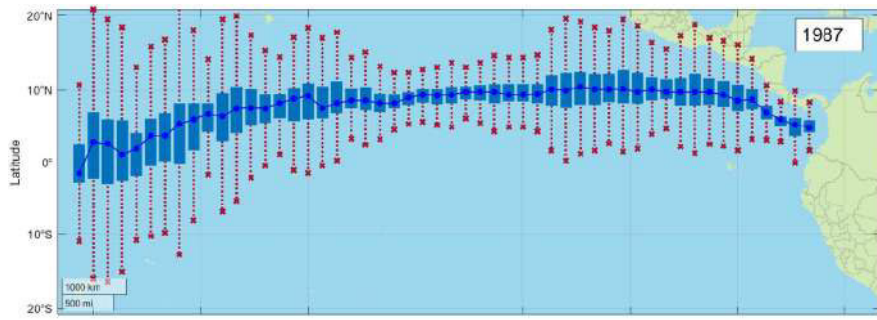


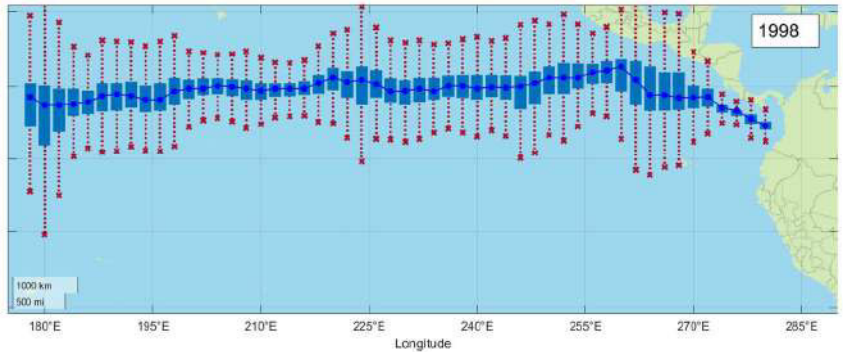
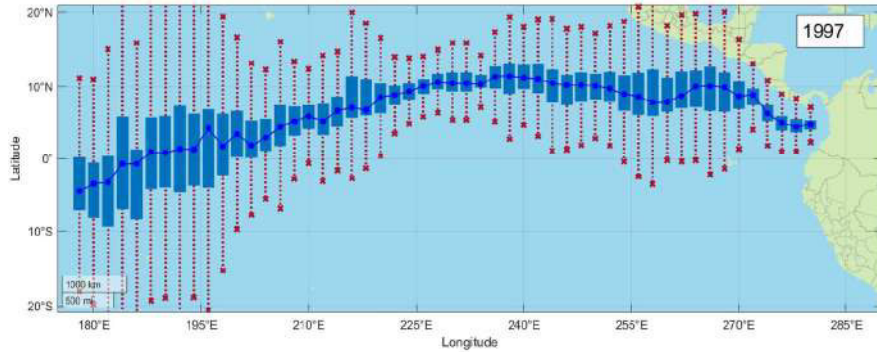
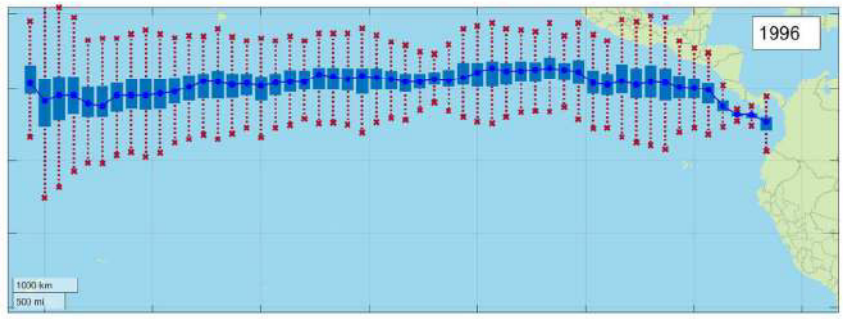
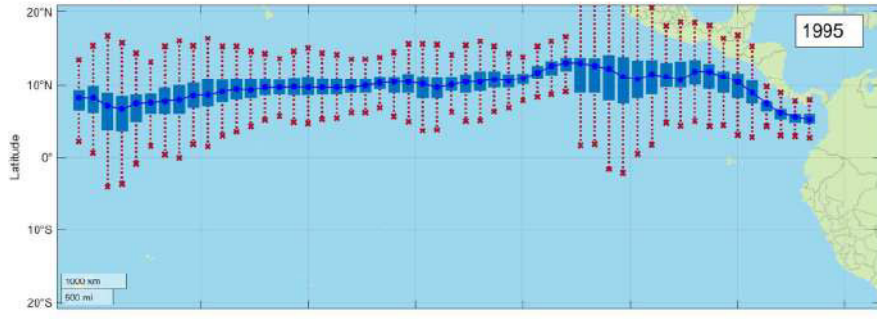
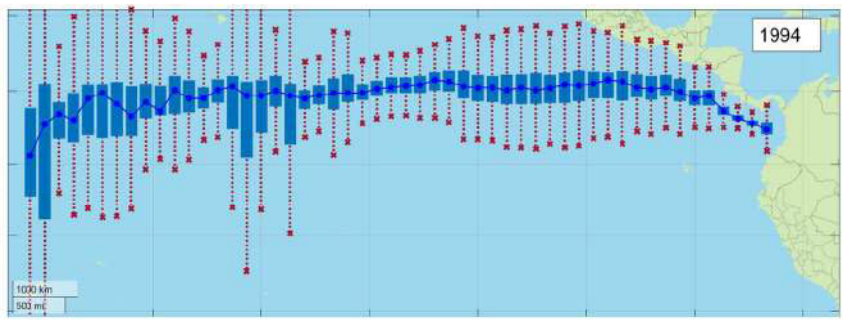
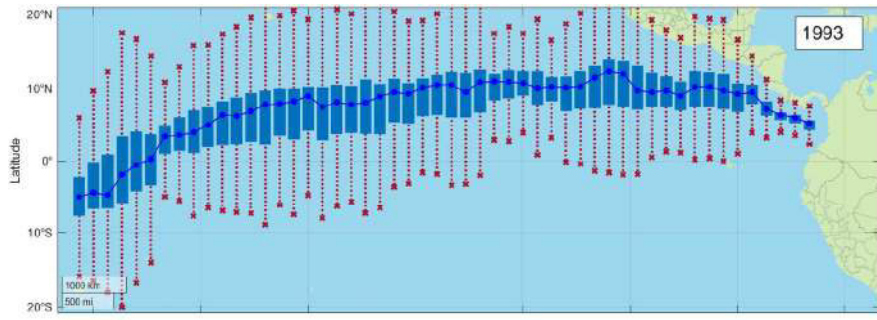


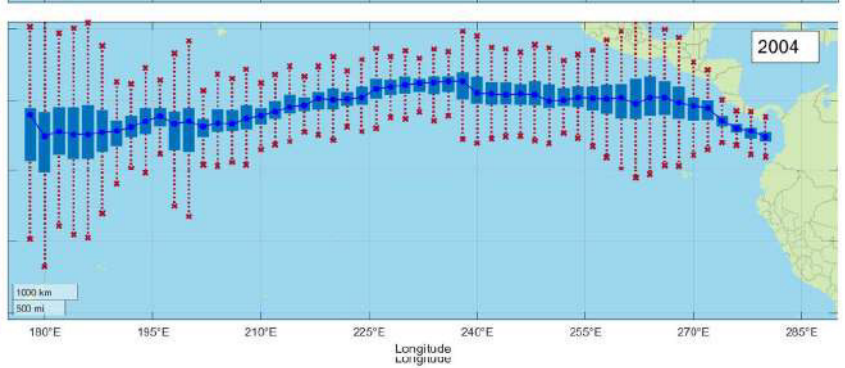
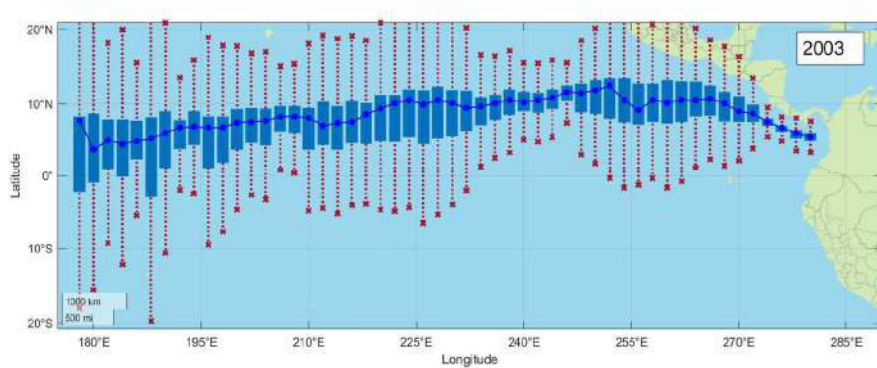
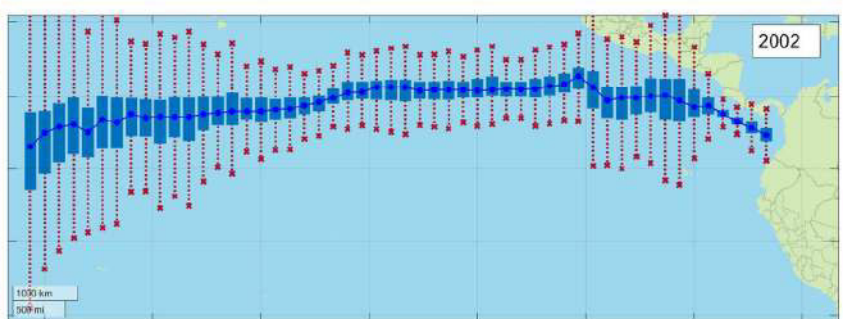
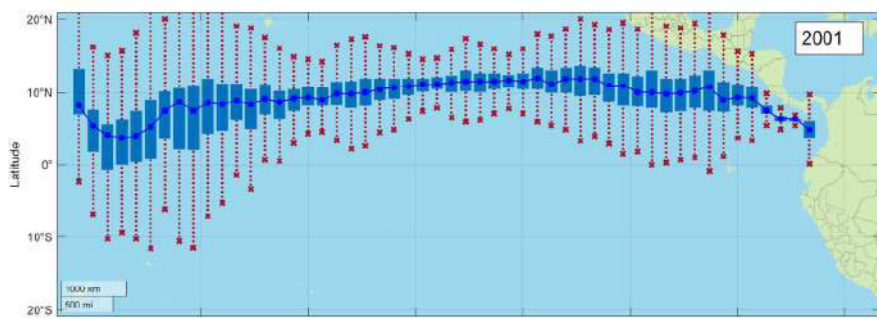
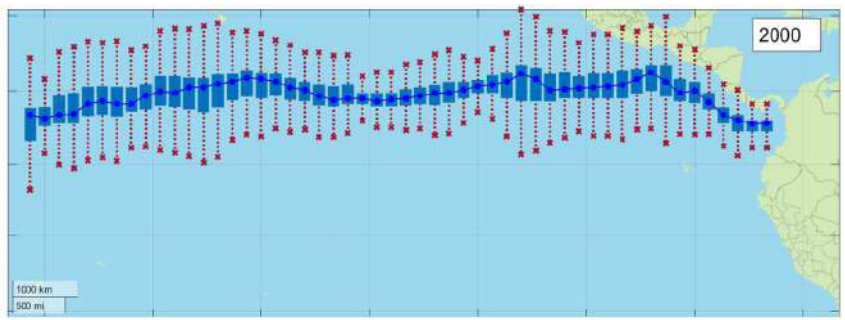
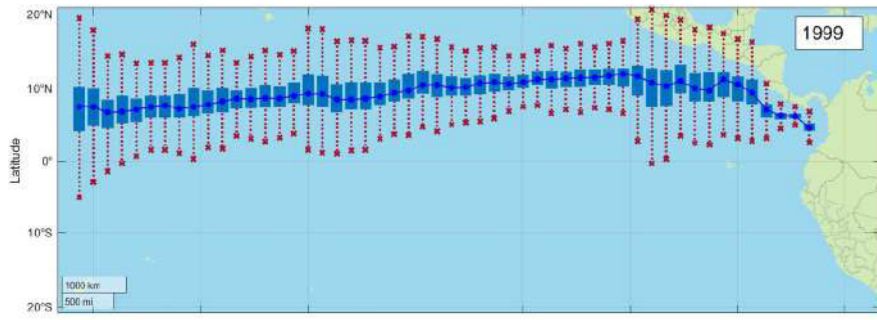
SEPTIEMBRE:

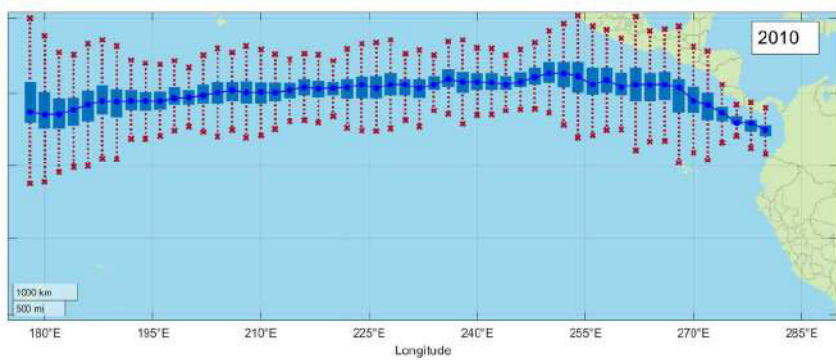
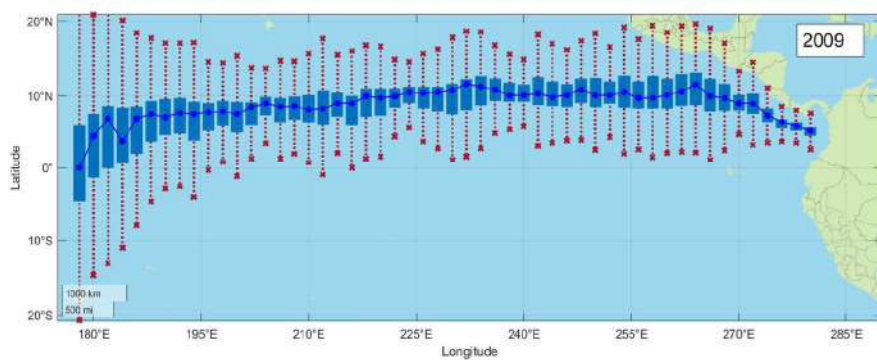
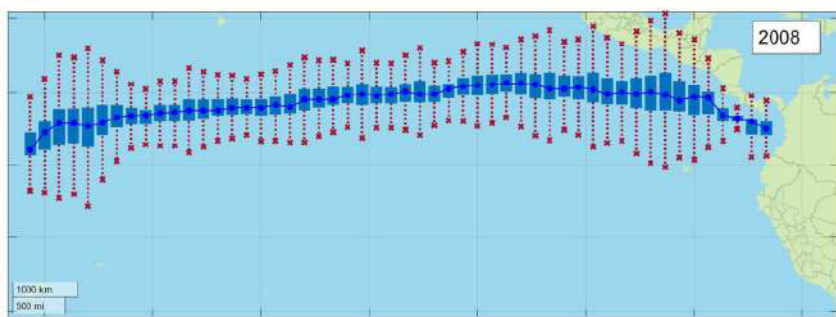
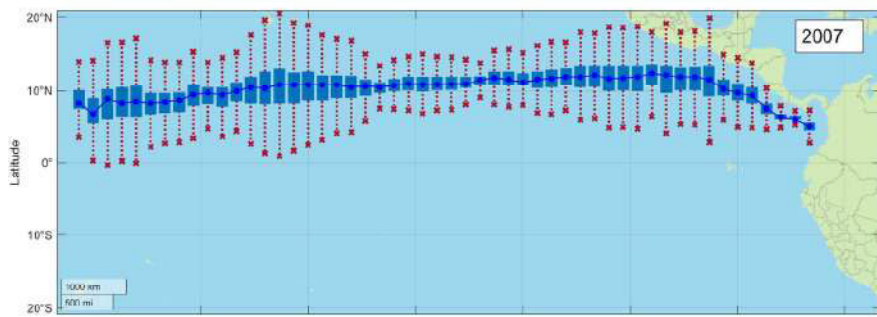
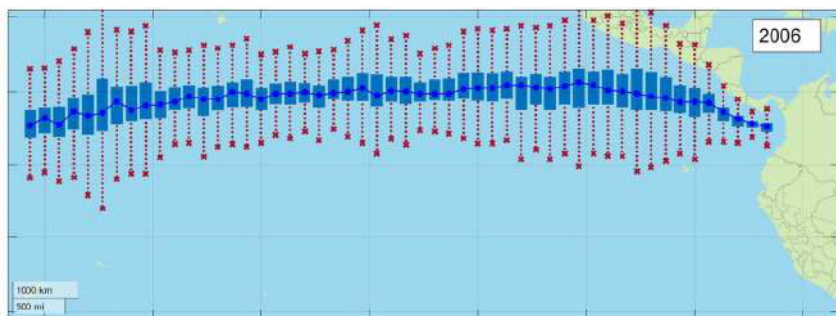
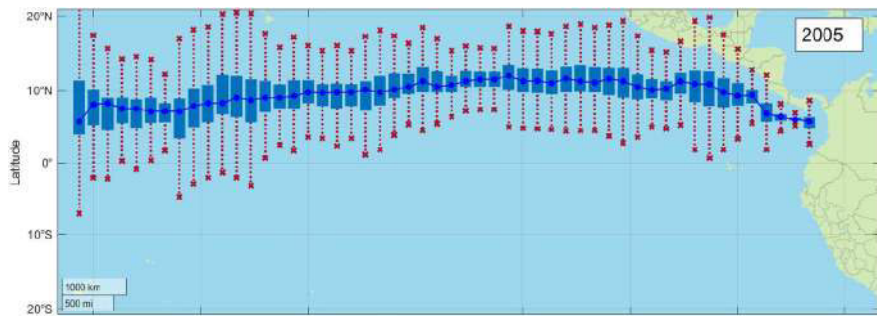


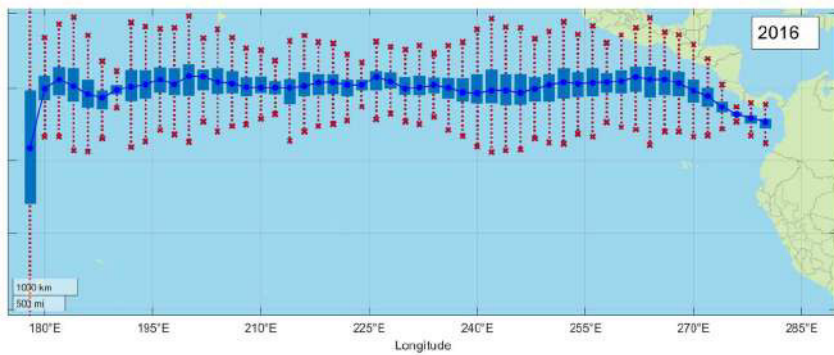
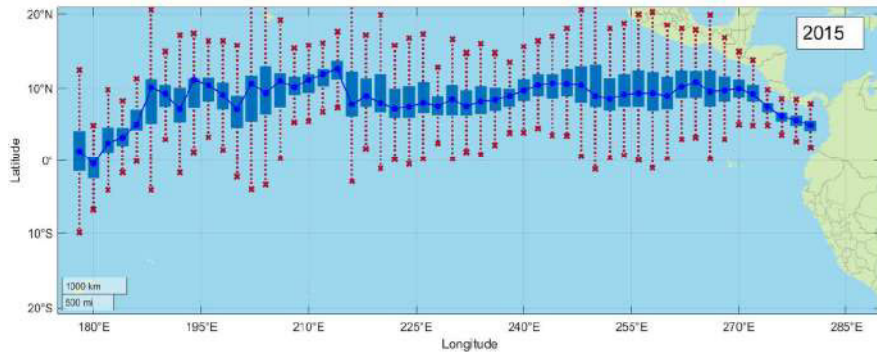
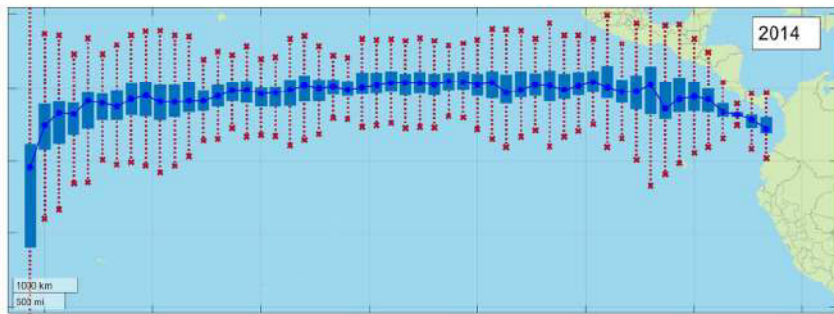
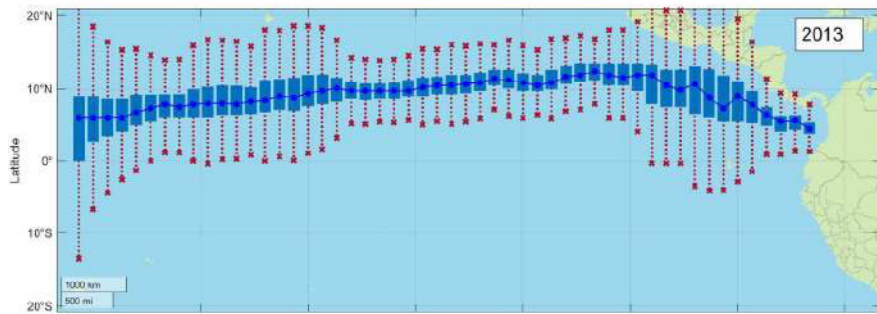
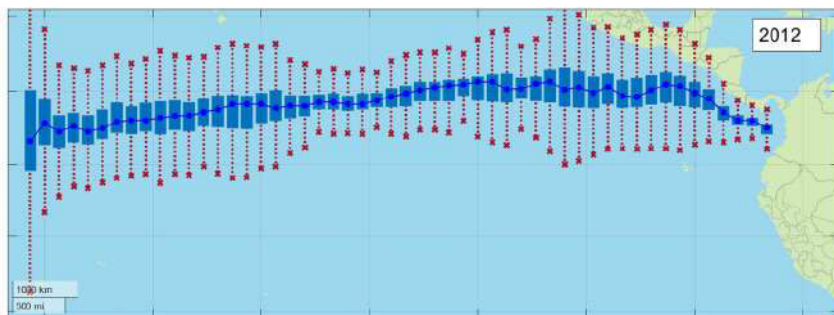
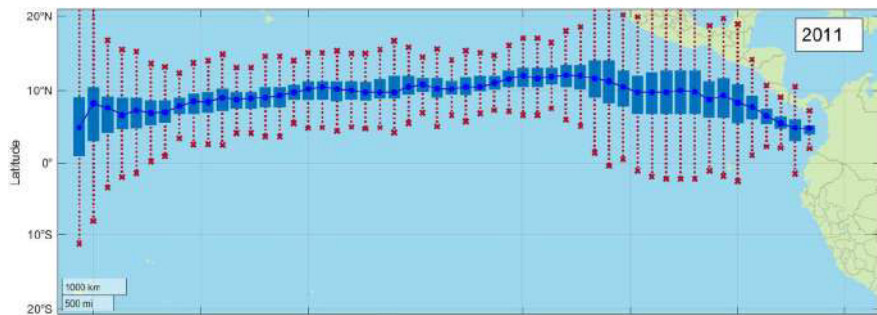


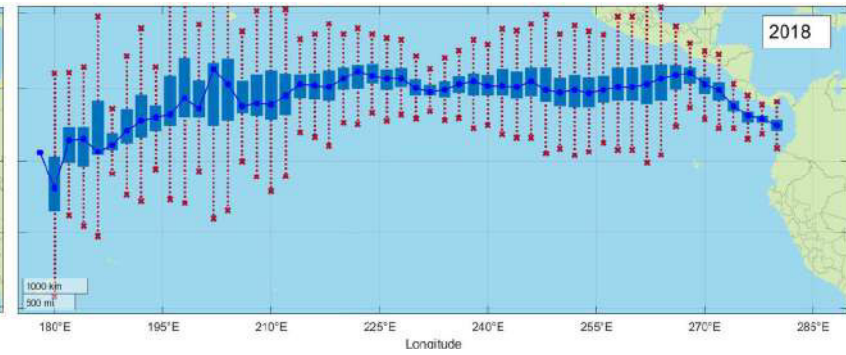
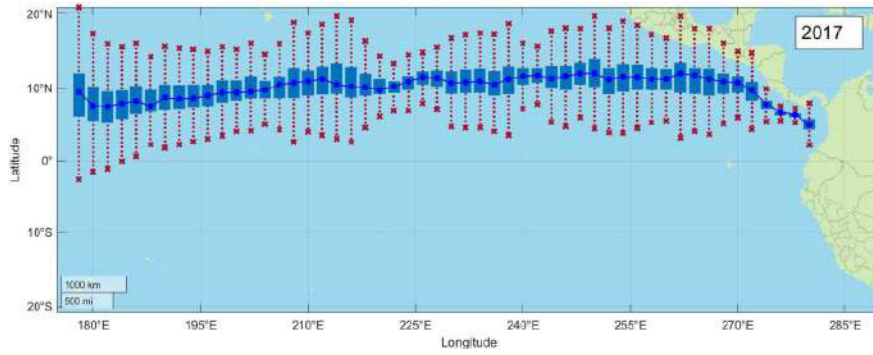




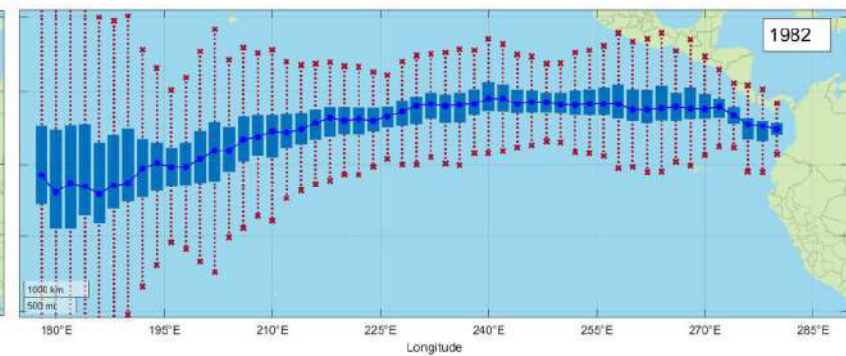
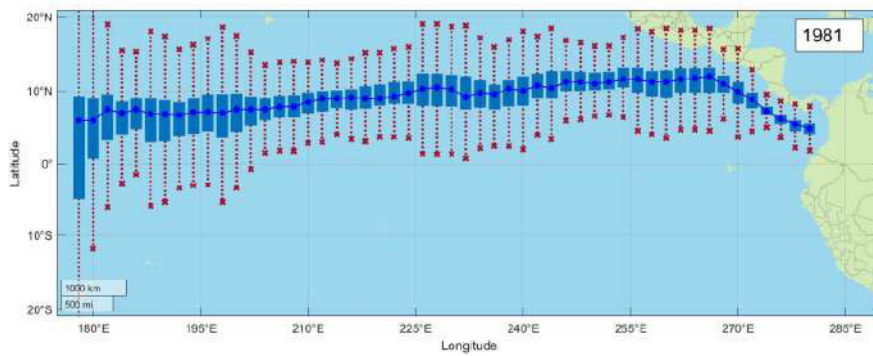
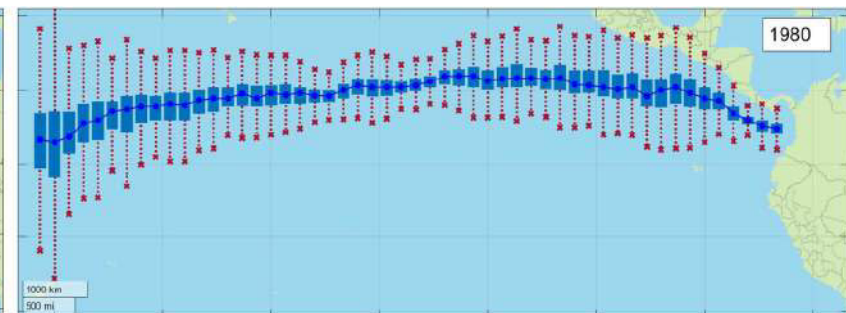
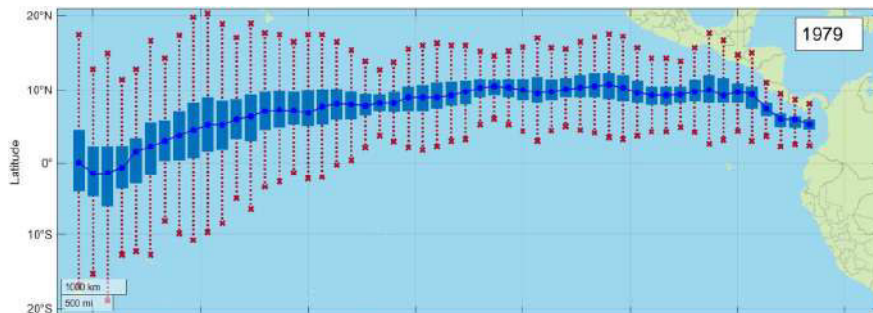


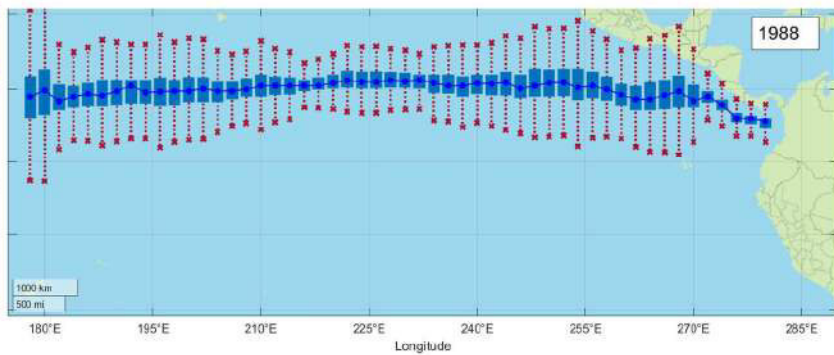
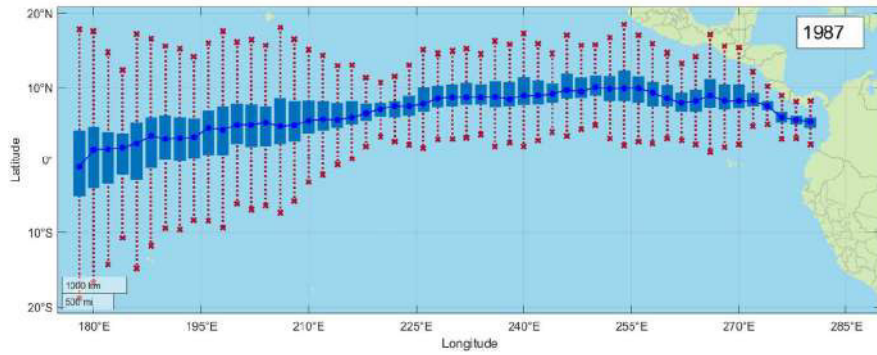
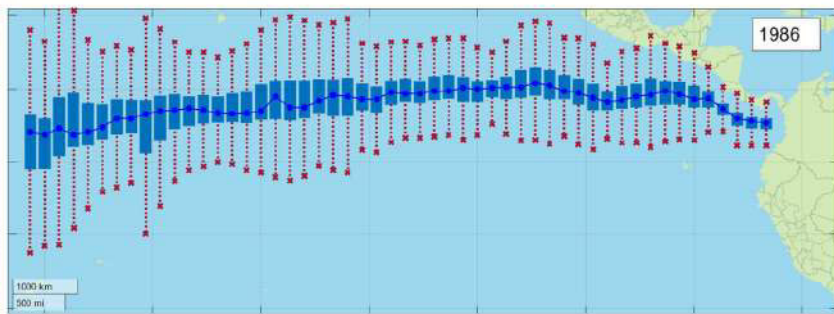
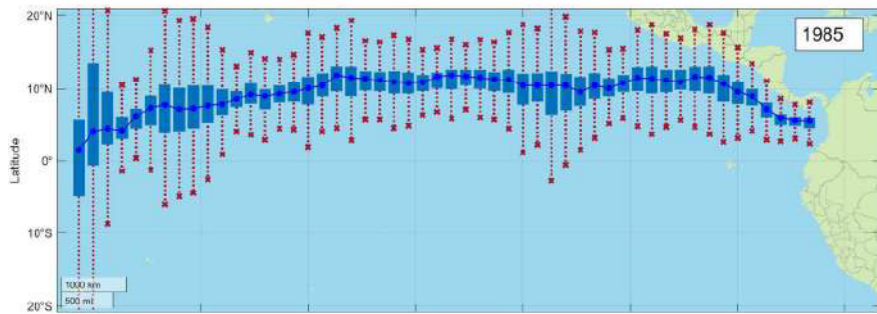
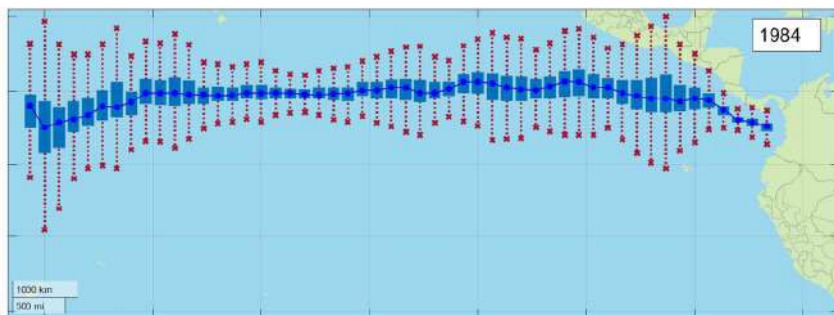
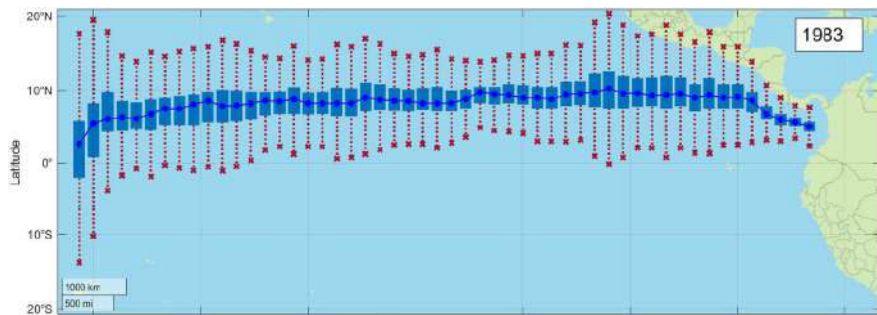


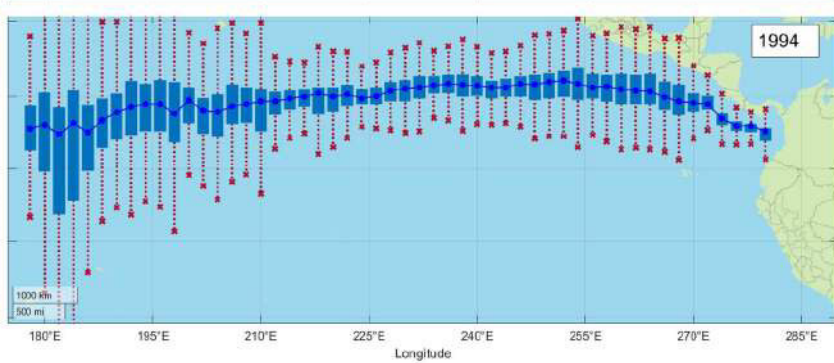
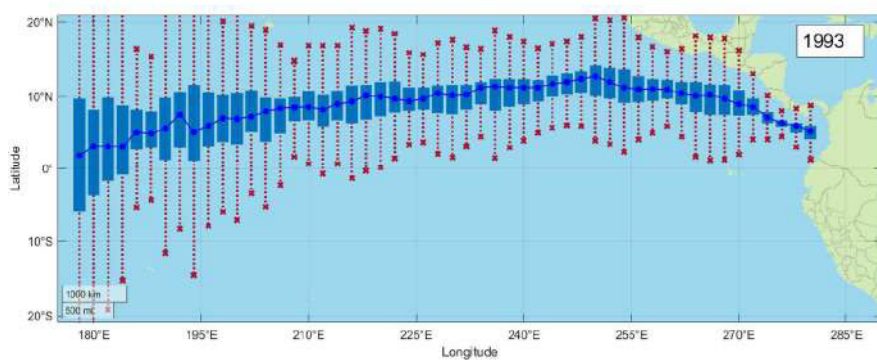
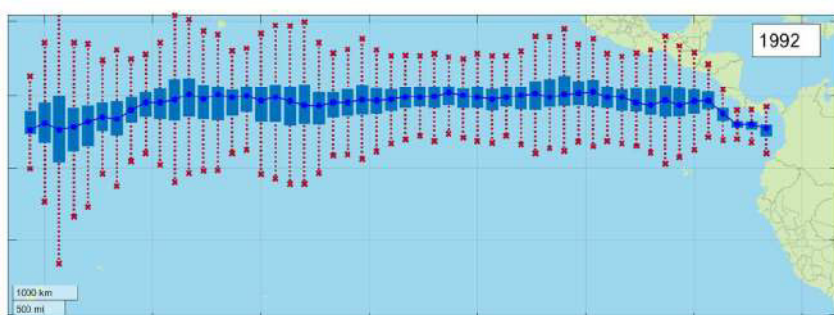
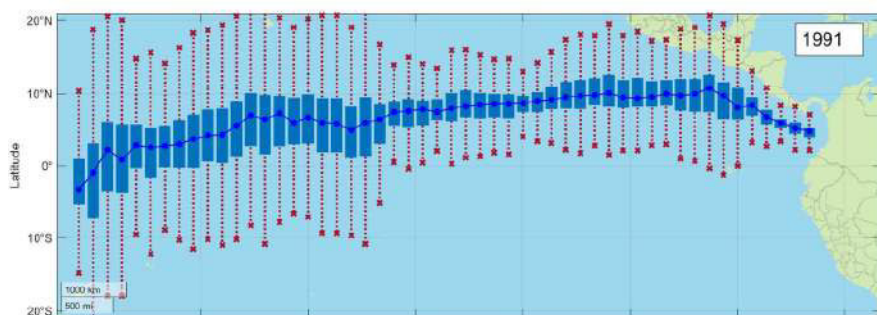
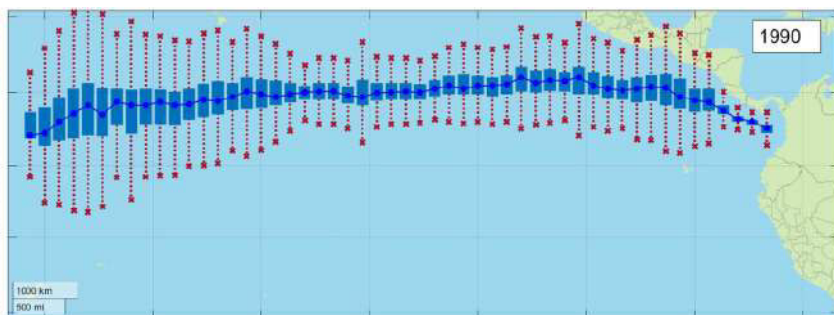
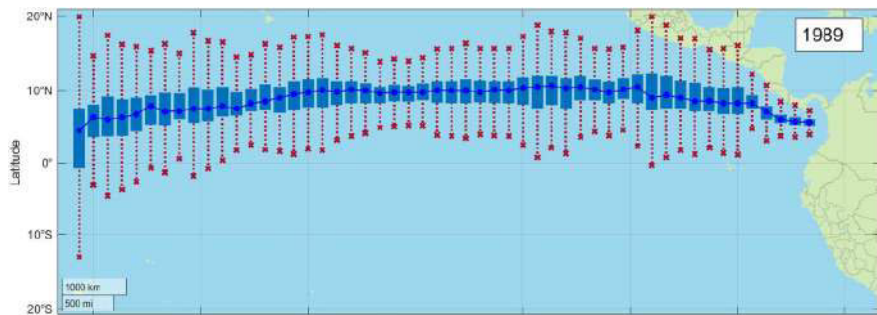


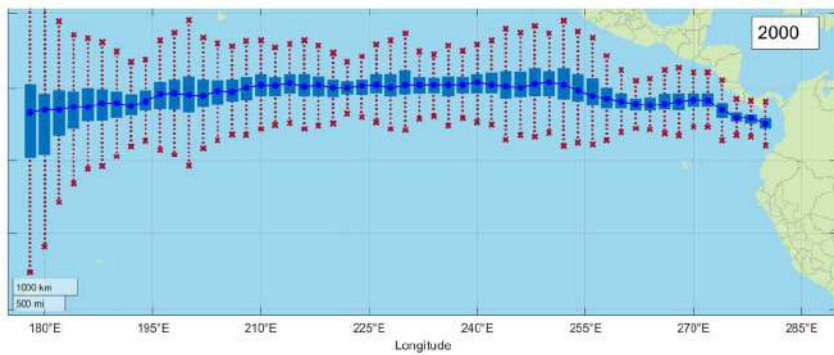
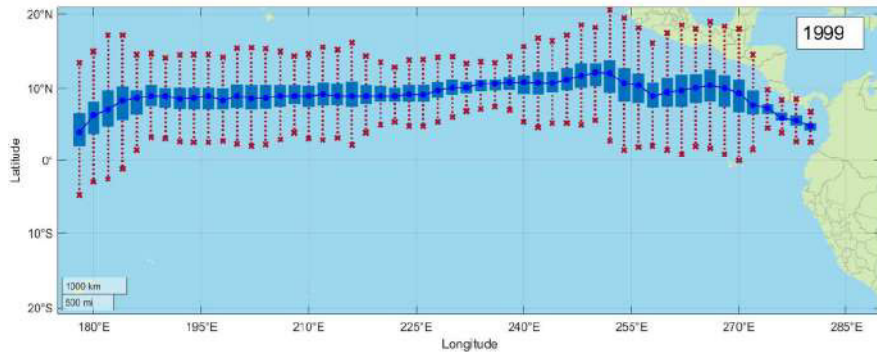
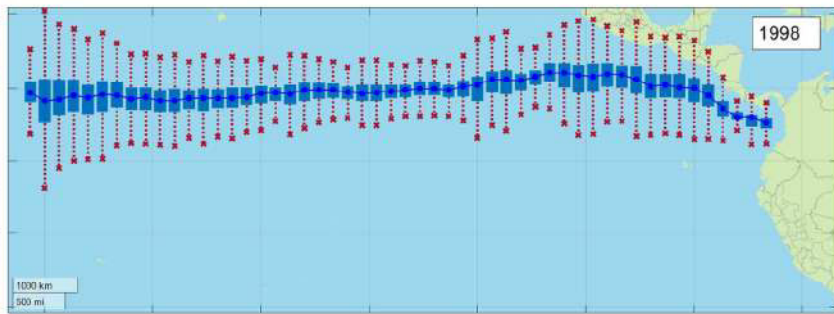
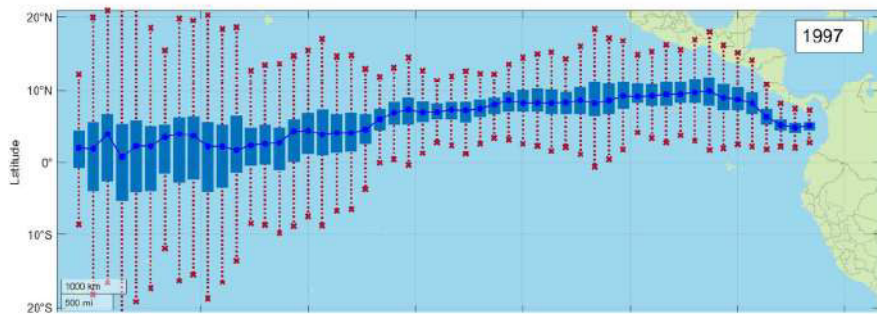
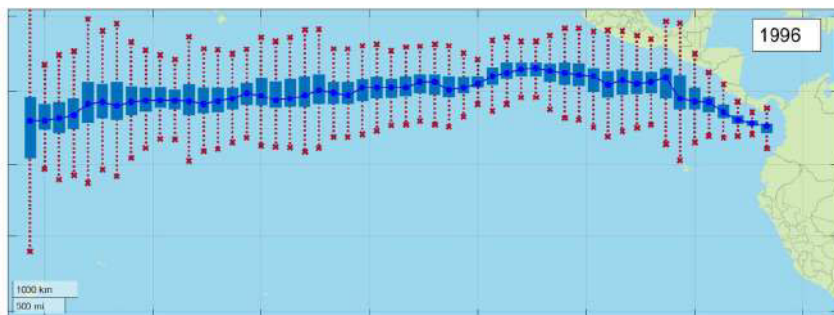
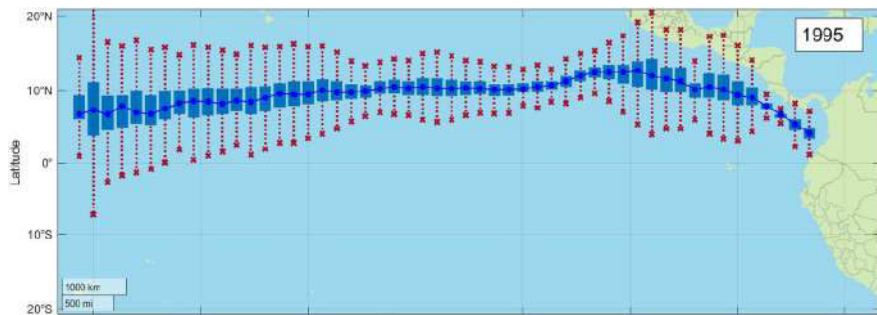


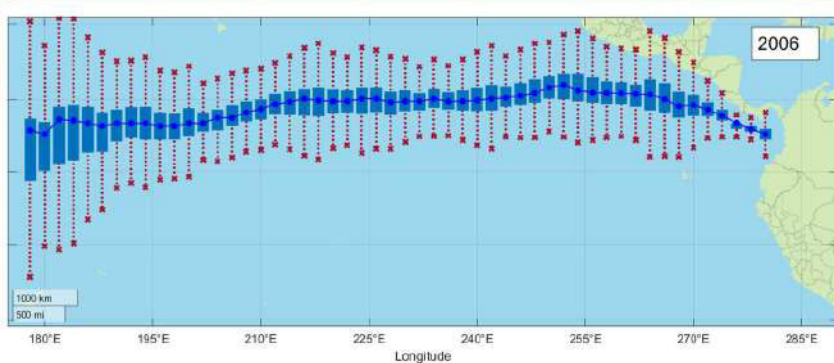
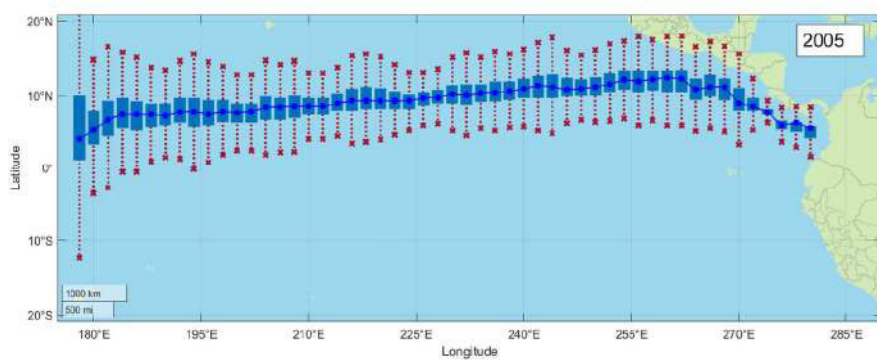
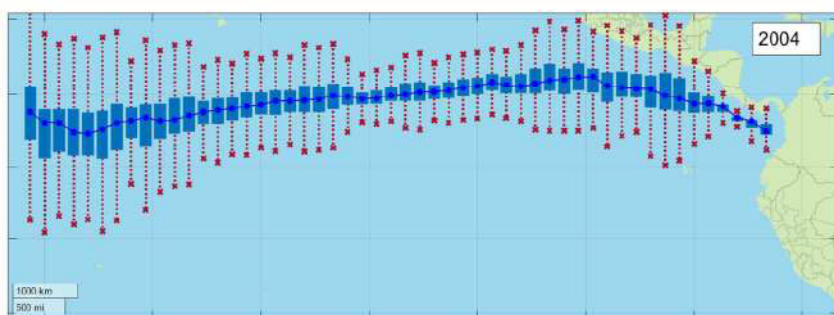
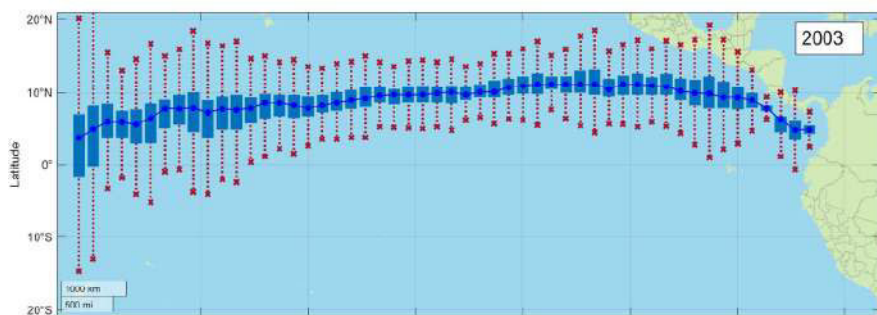
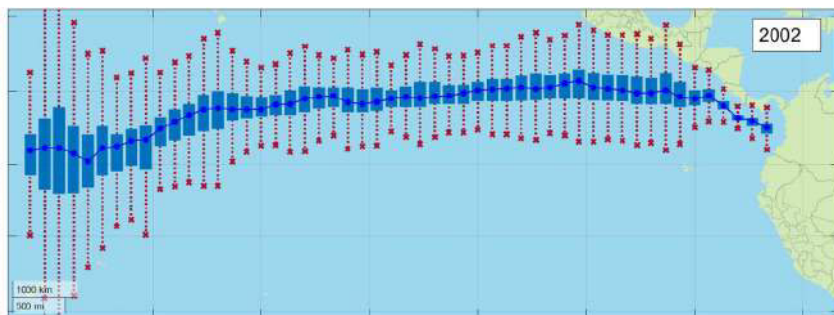
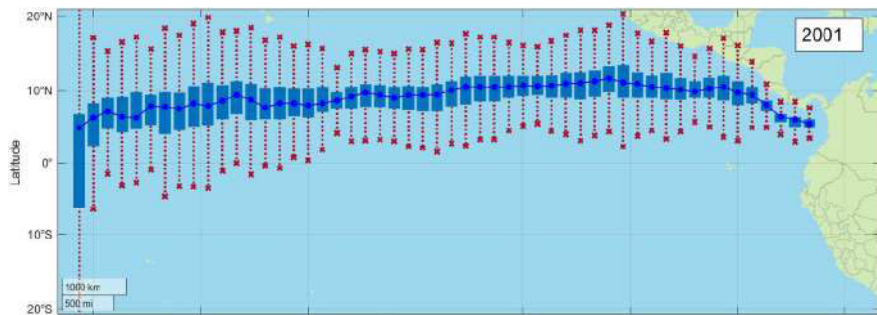
OCTOBRE:

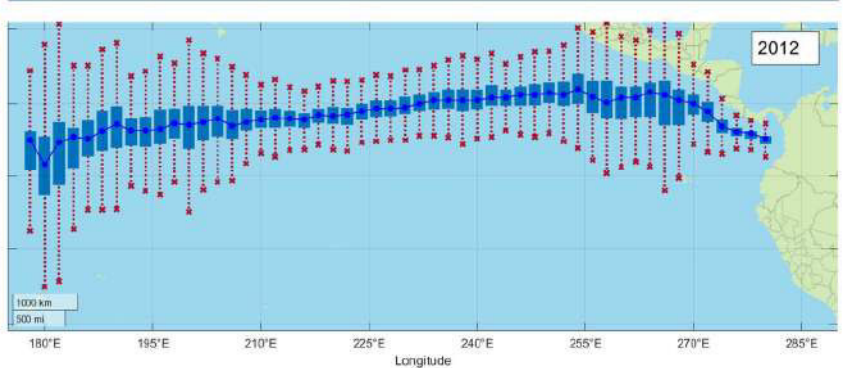
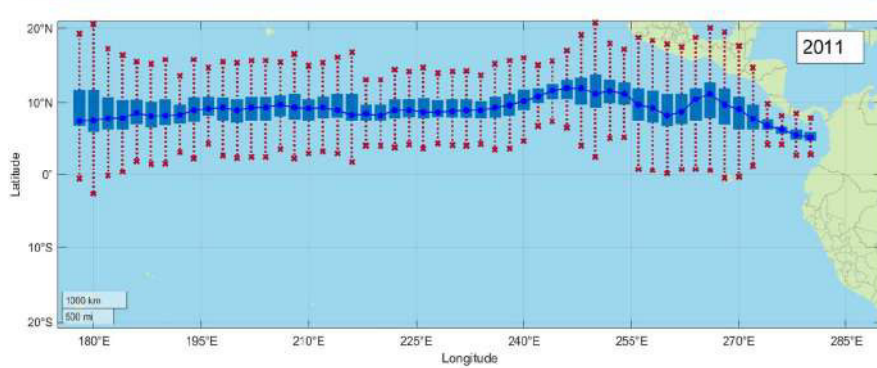
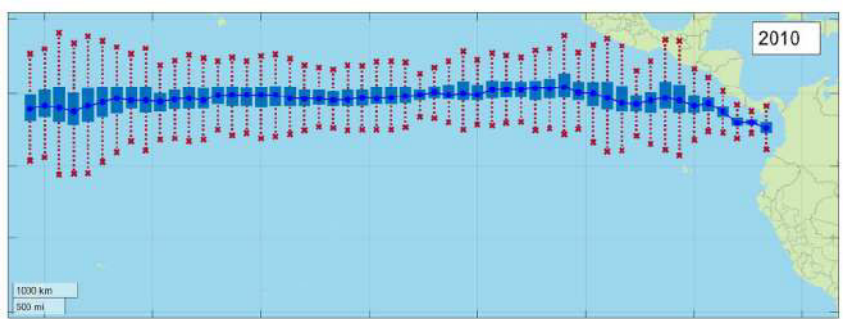
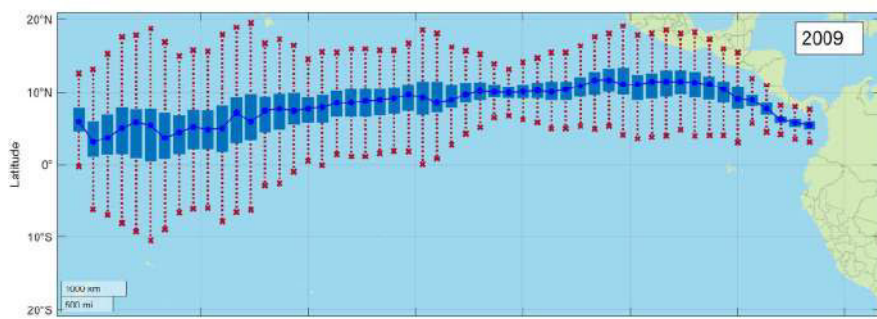
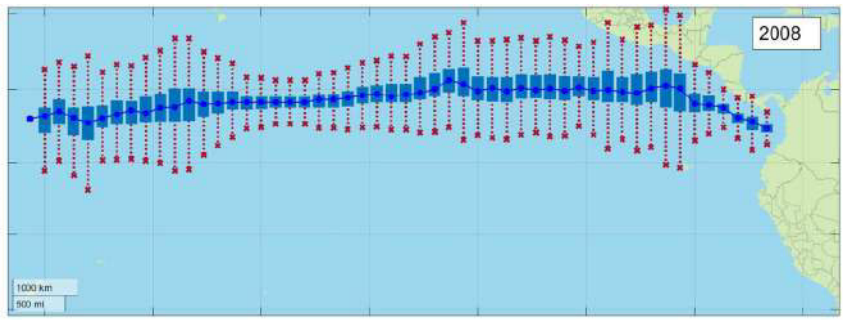
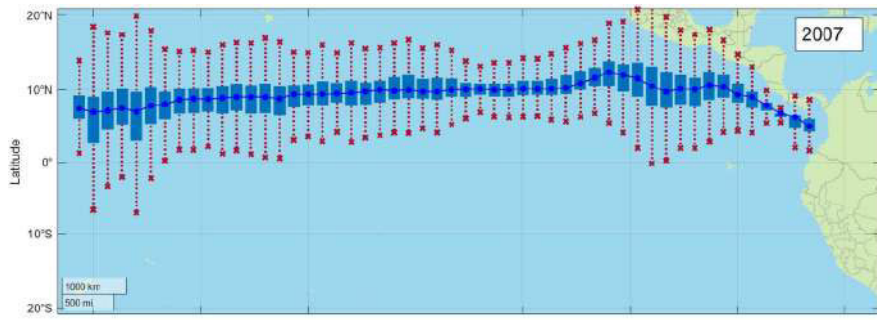


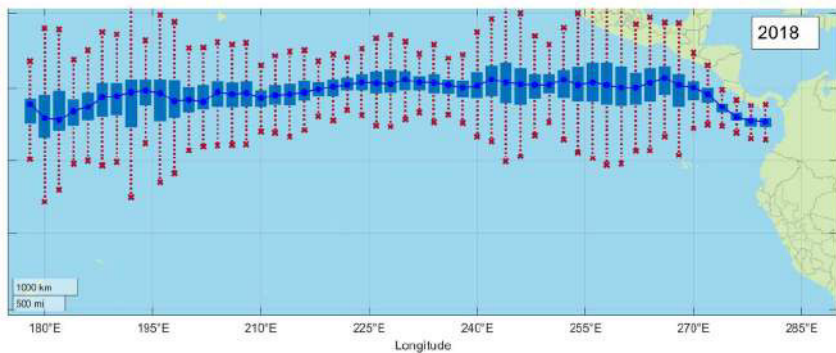
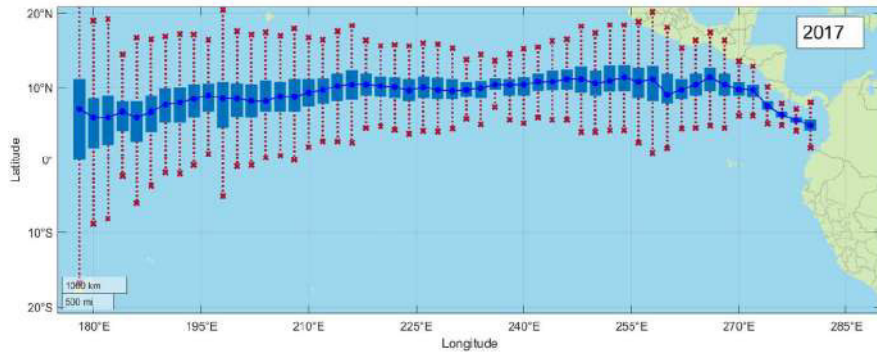
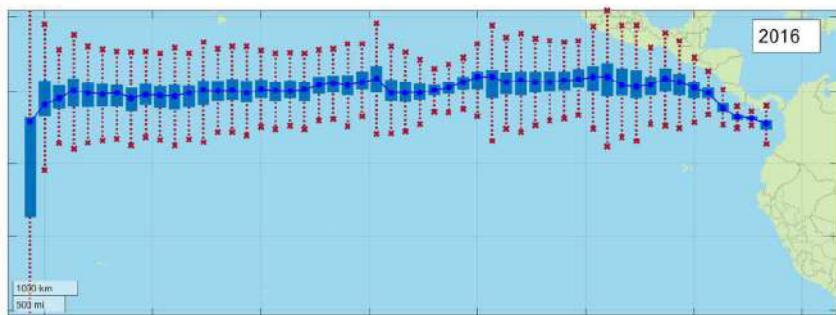
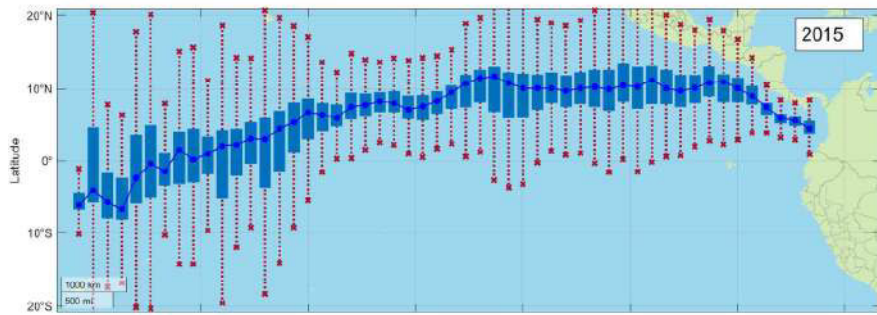
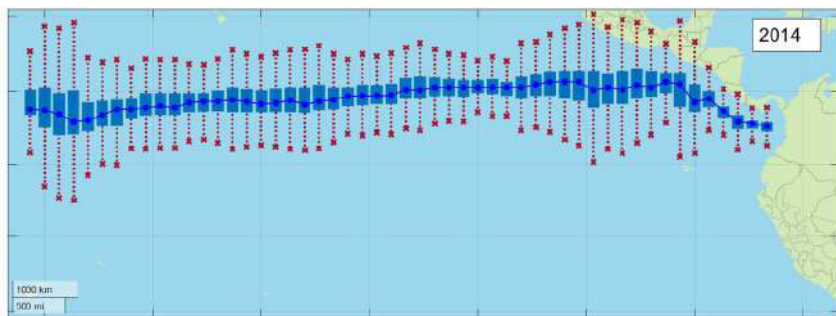
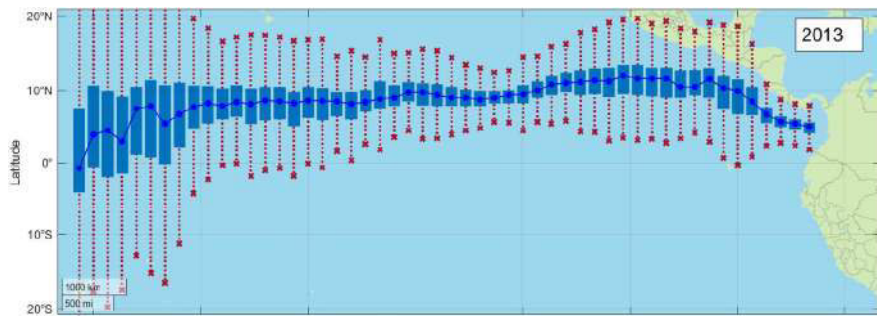




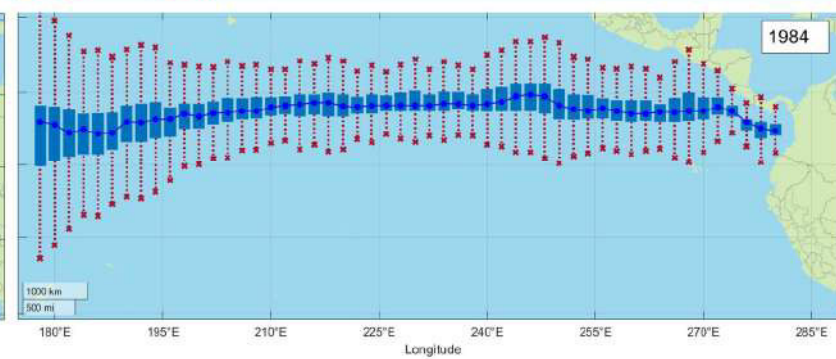
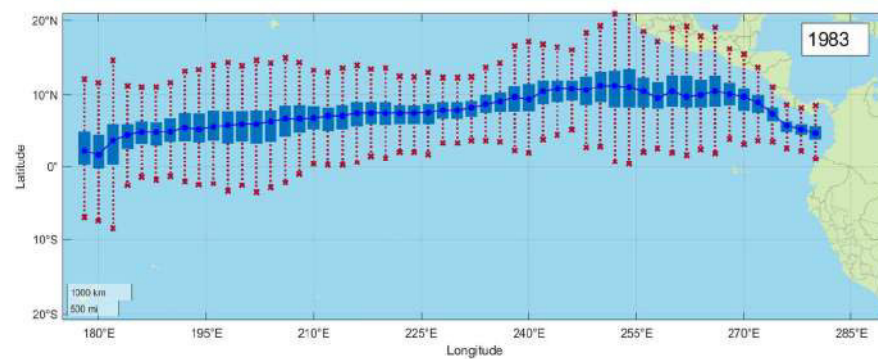
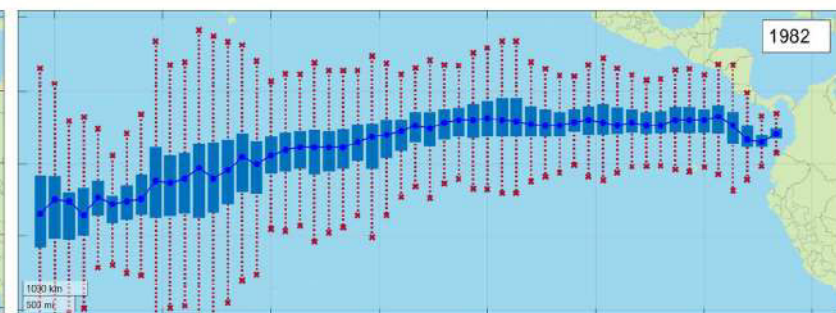
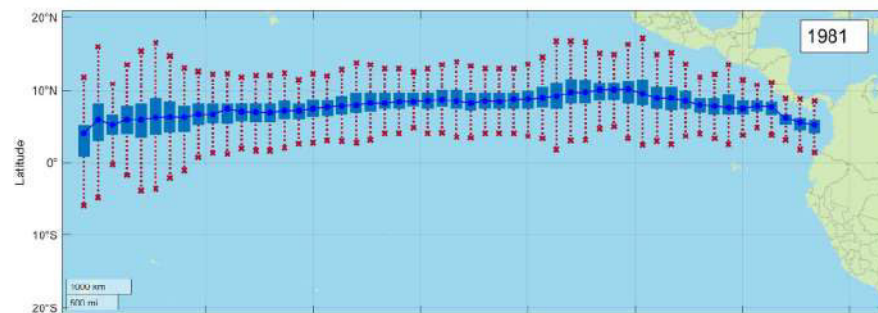
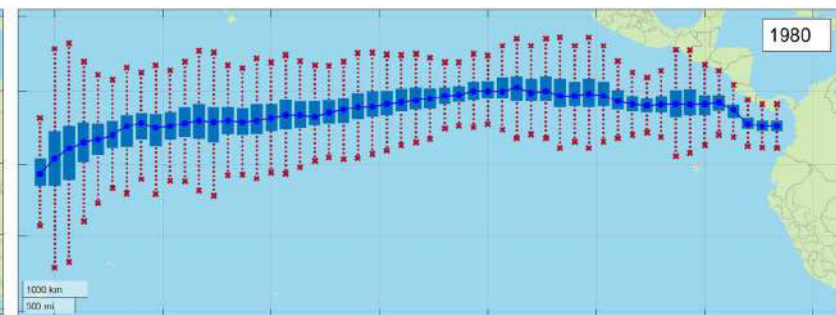
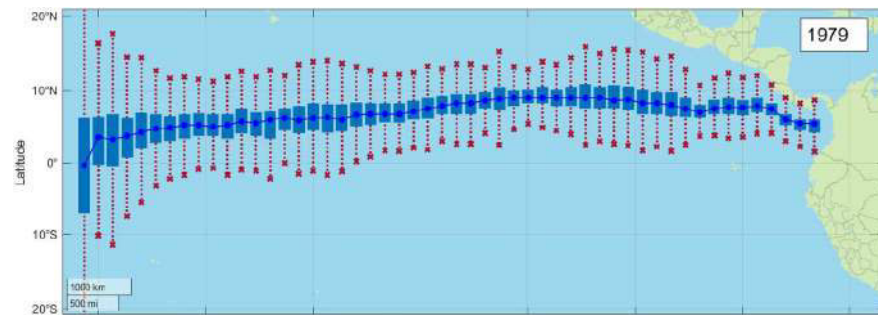


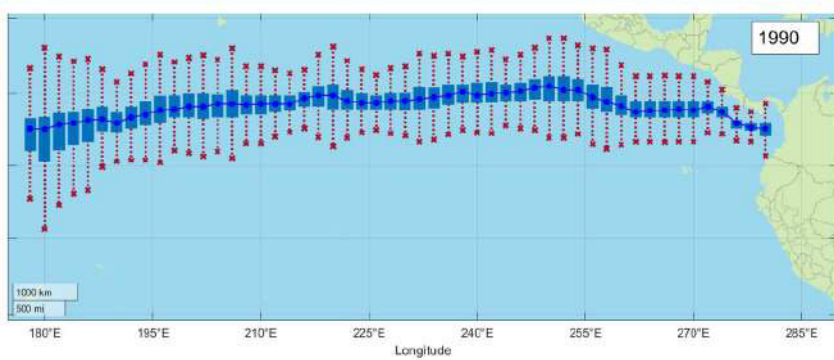
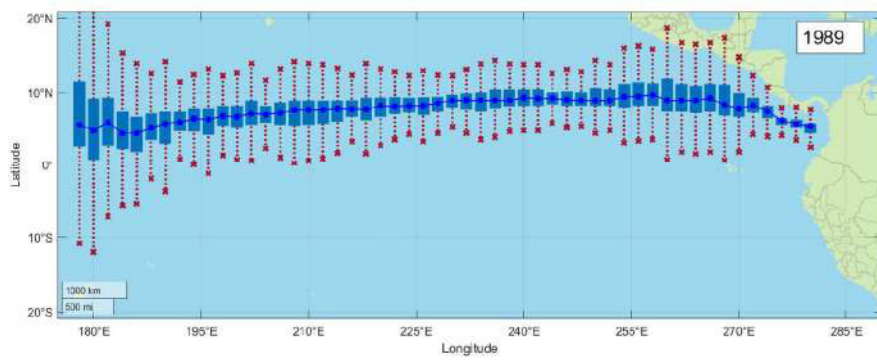
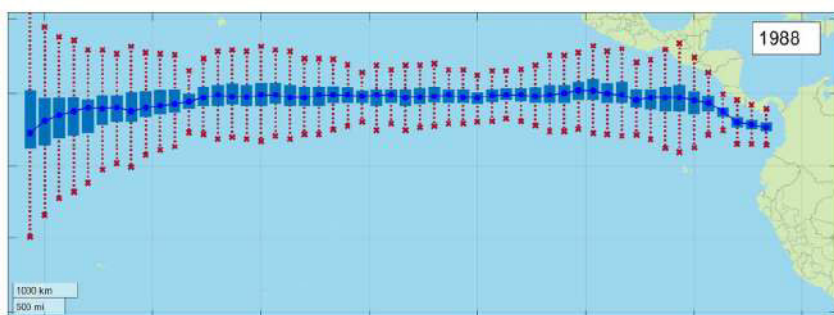
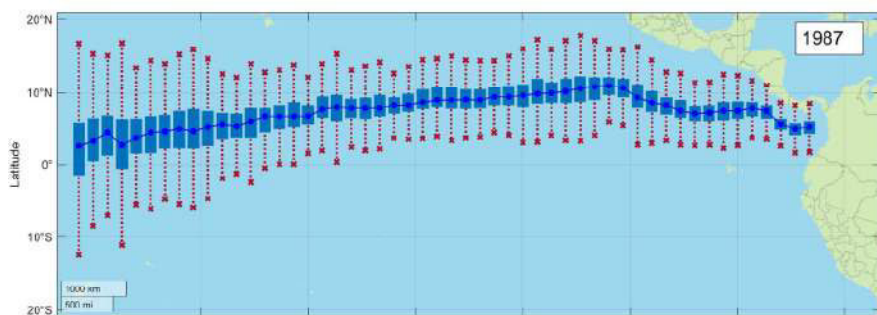
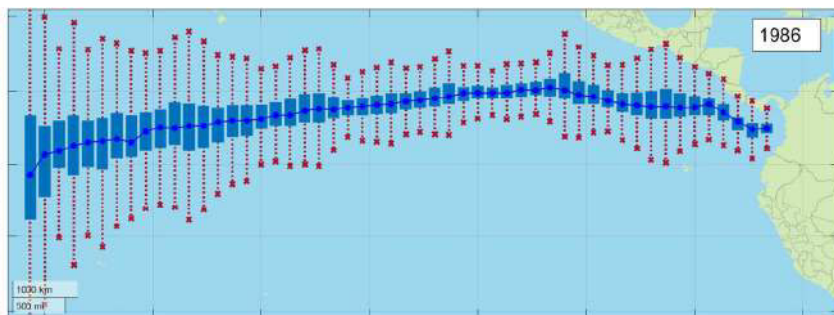
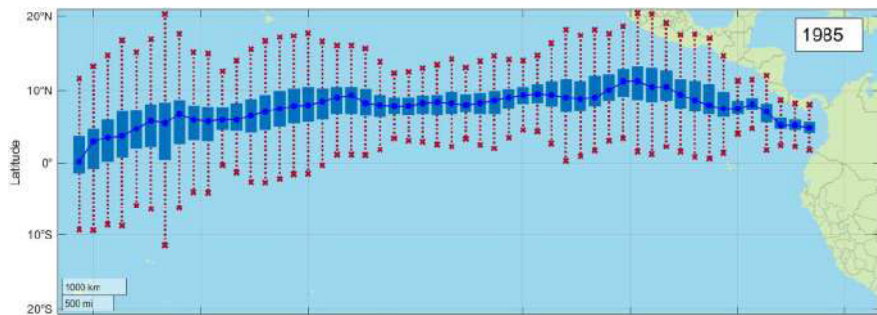


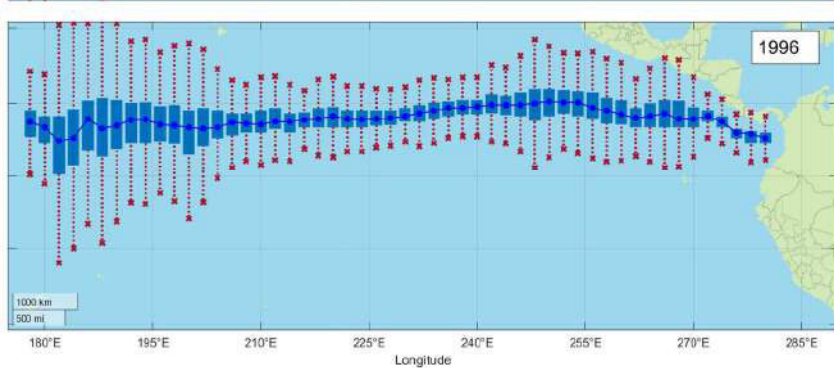
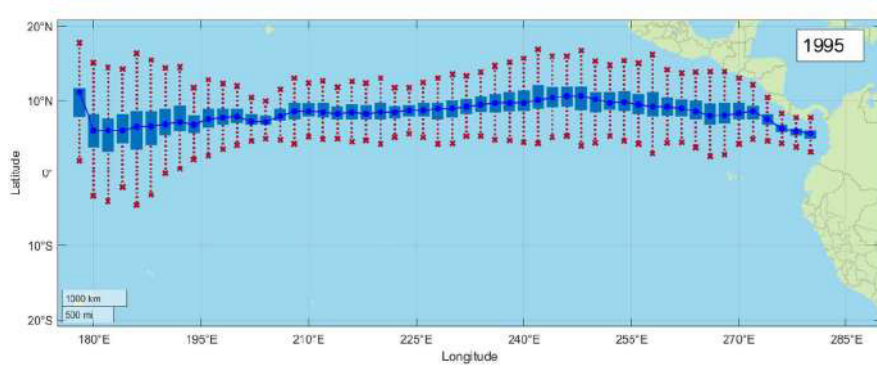
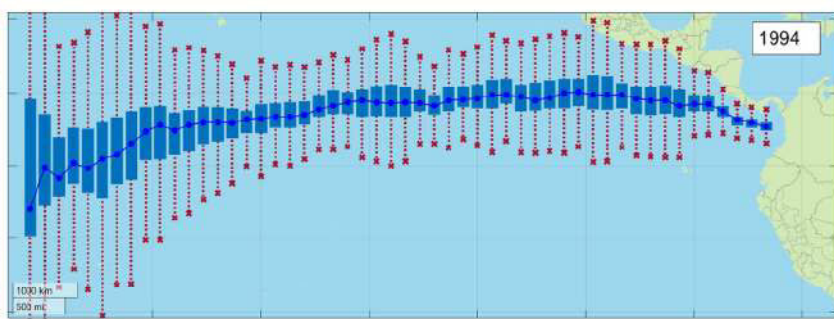
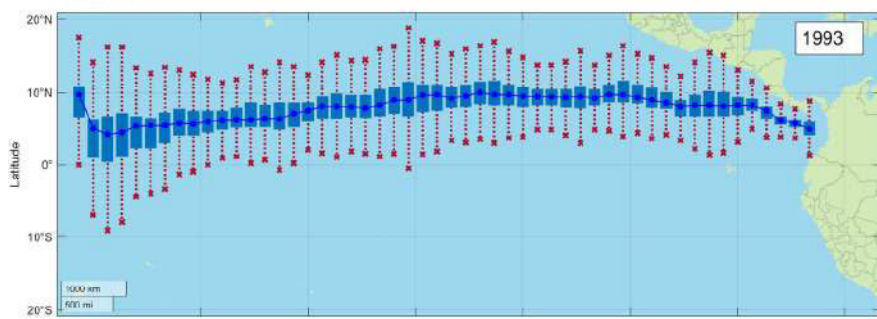
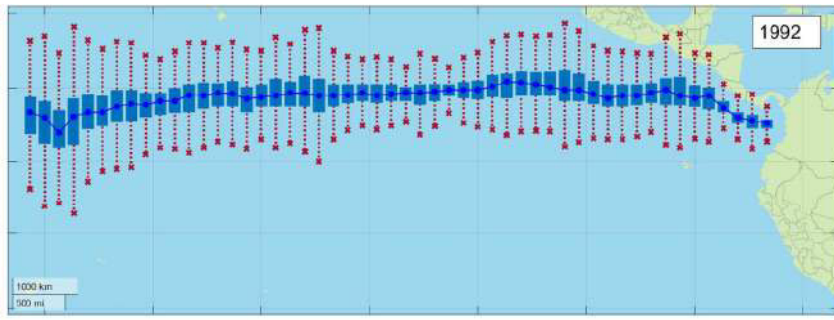
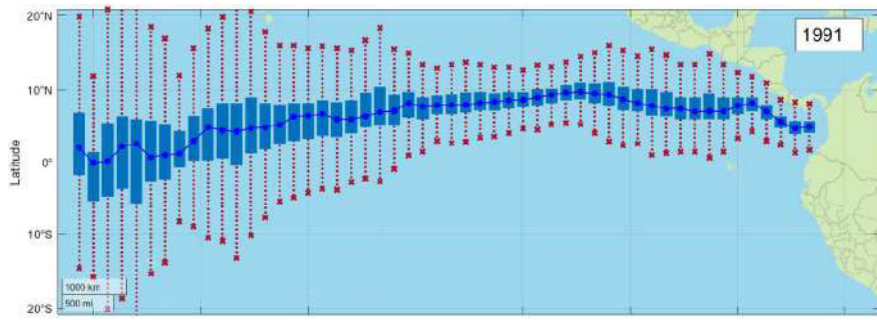


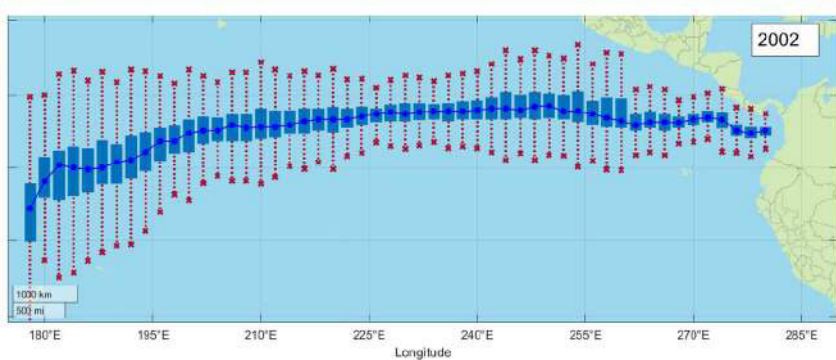
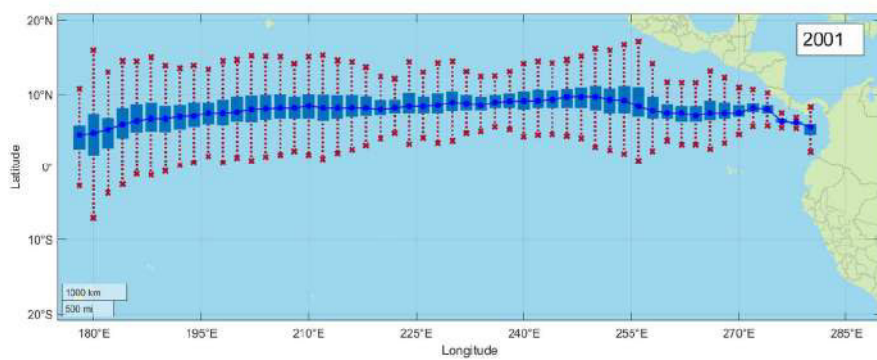
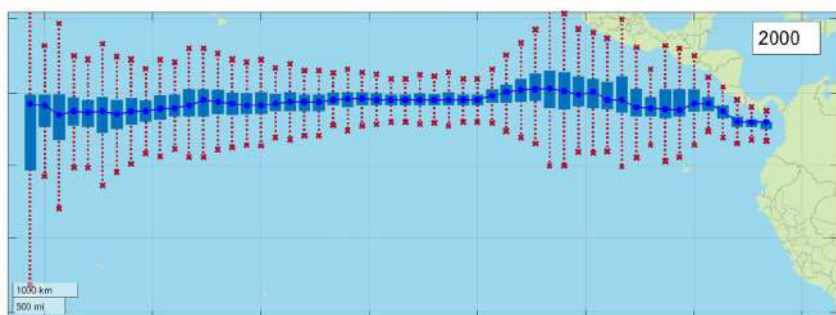
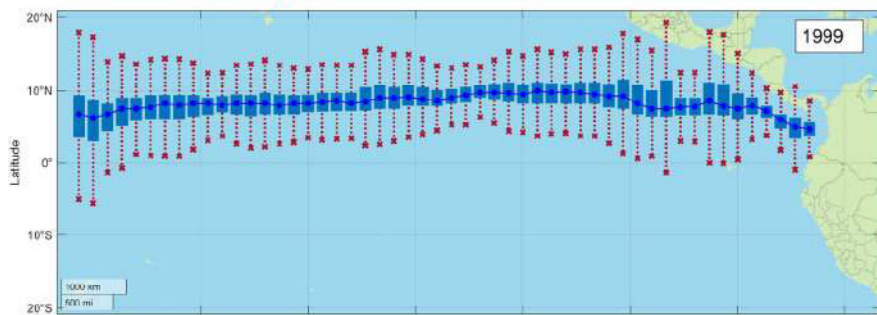
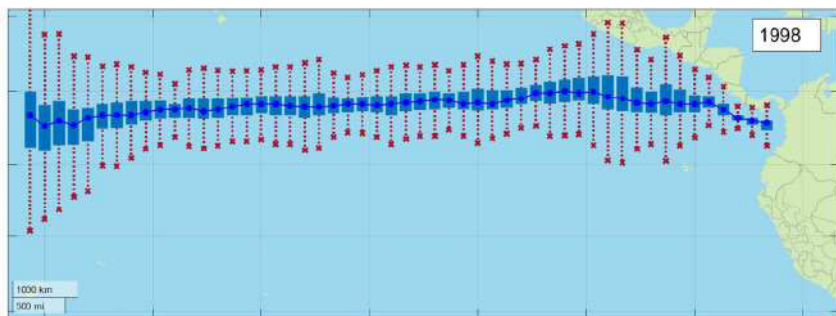
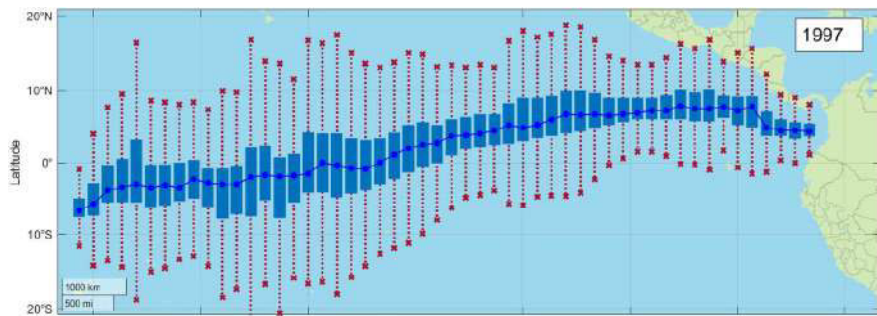


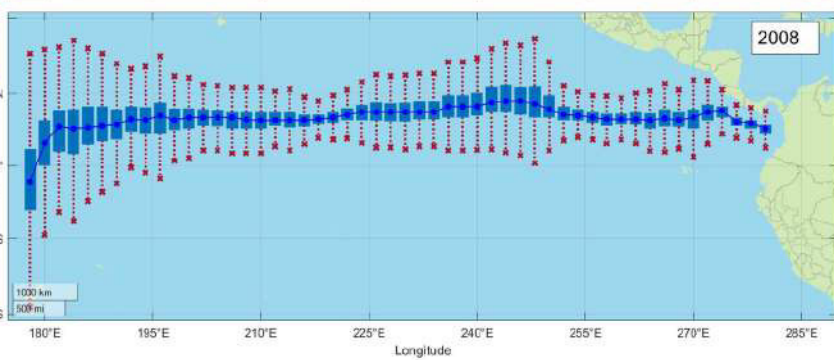
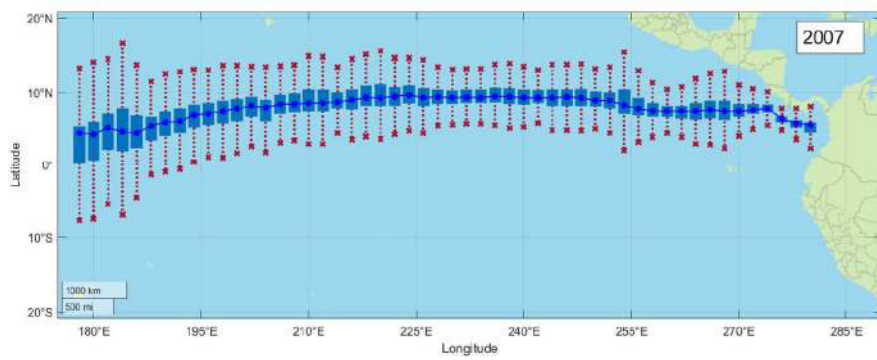
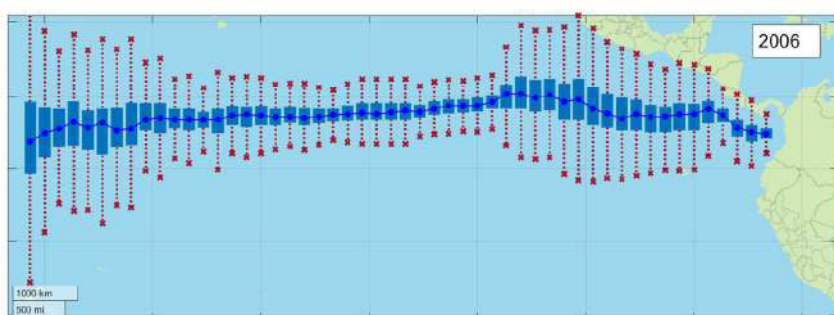
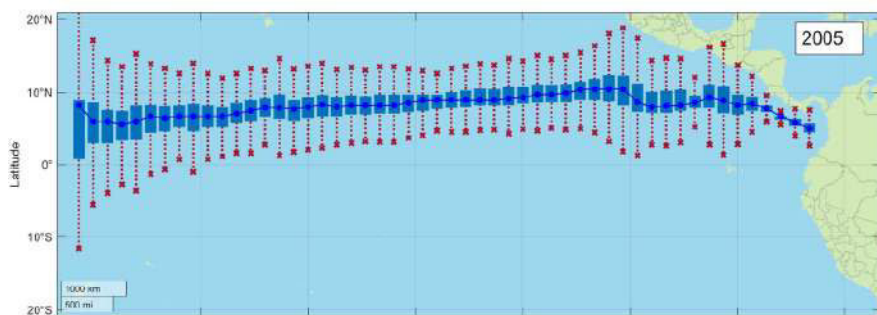
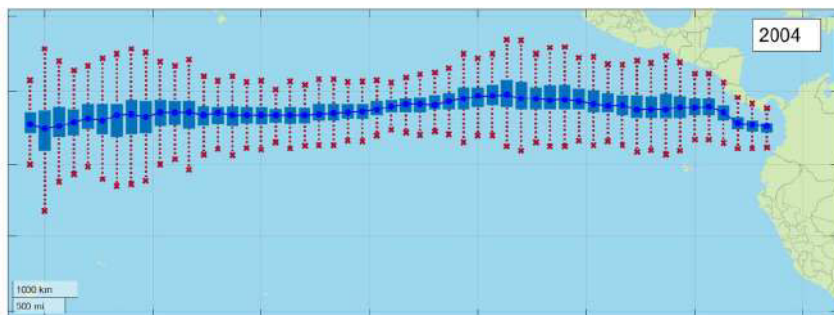
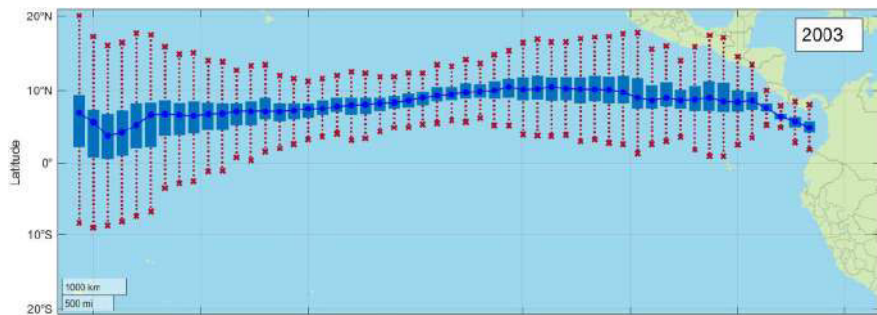
NOVIEMBRE:

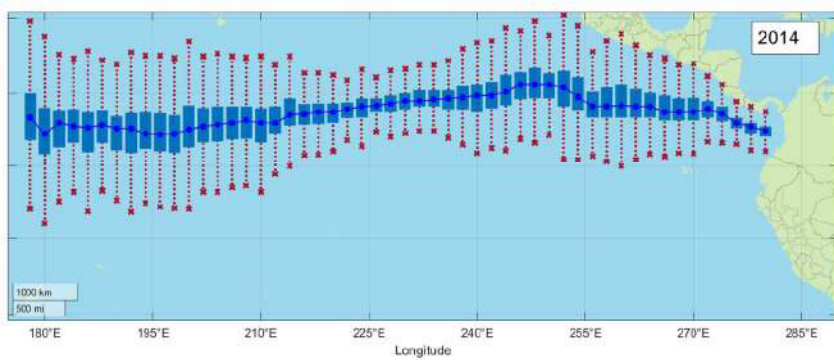
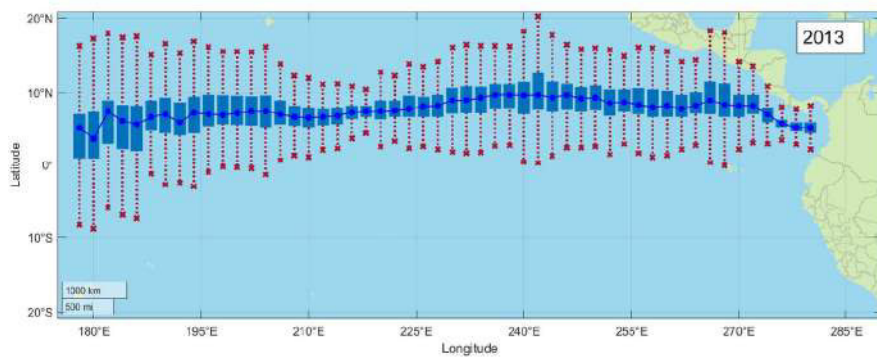
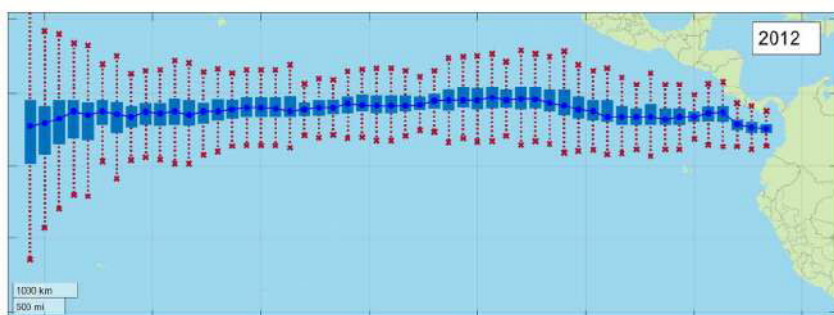
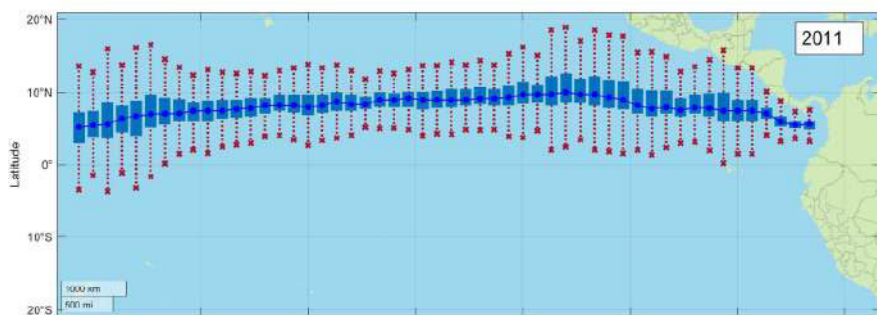
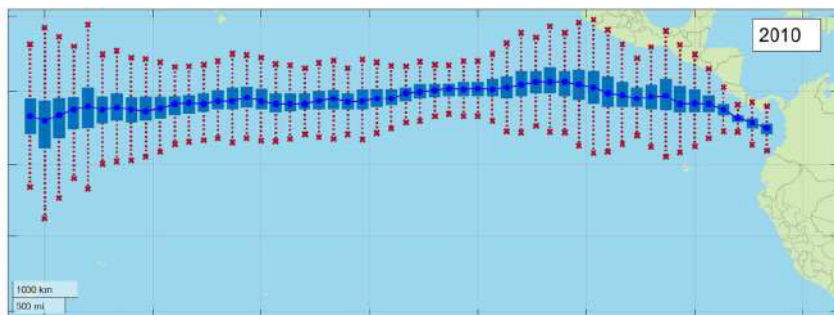
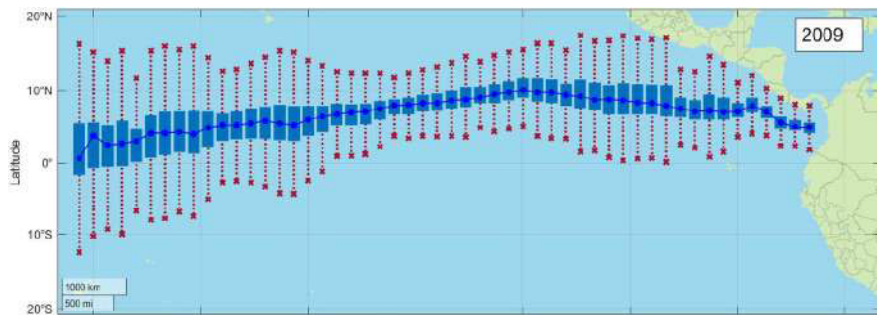


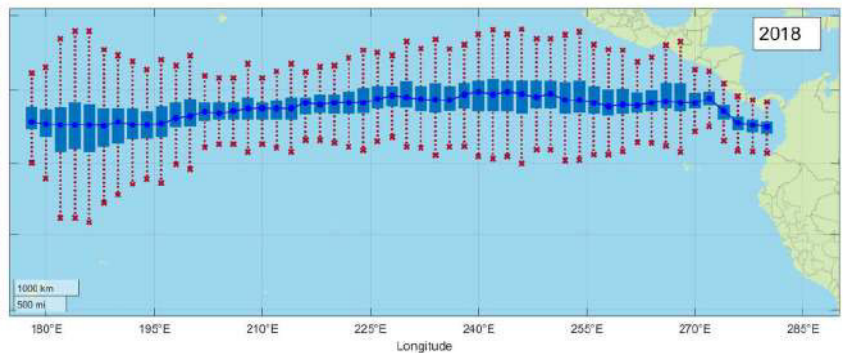
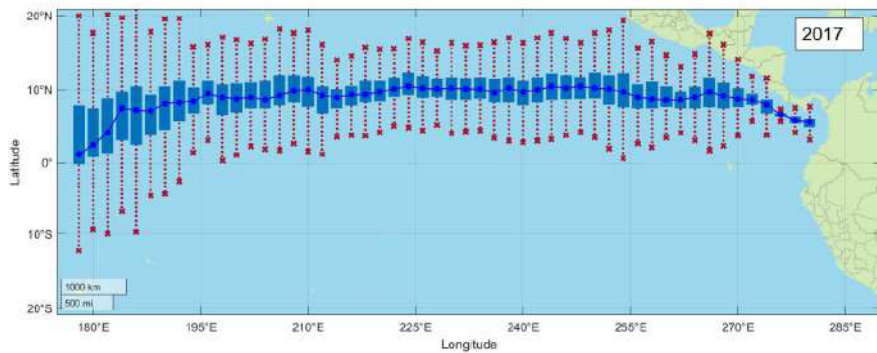
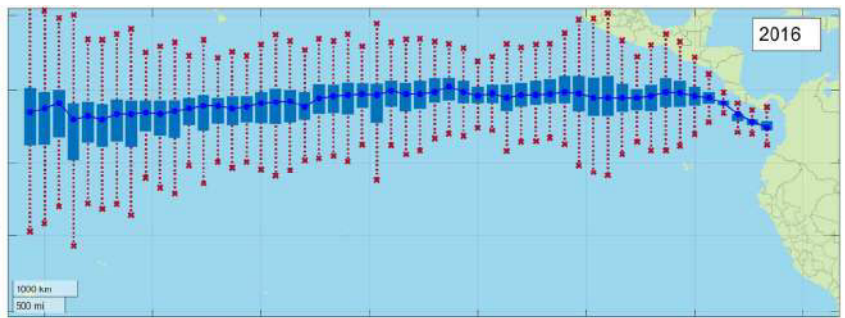
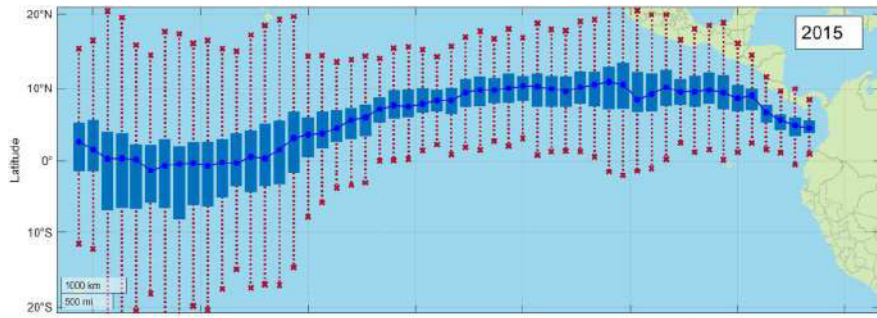












DICIEMBRE:

