



EDUCACIÓN

SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO®

SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA

TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BOCA DEL RÍO

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN



Evaluación empleando Inteligencia Artificial del grado de contaminación plástica en dos playas del Municipio de Boca del Río, Veracruz, México.

TESIS

QUE COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN
CIENCIAS EN INGENIERIA AMBIENTAL

PRESENTA

Ingeniero Informático César Adrián Granados Bernal

DIRECTOR DE TESIS:

Dr. Arturo García Saldaña

CODIRECTOR DE TESIS

Dra. Fabiola Lango Reynoso

ASESORES

Dra. Virginia Alcántara Méndez

Dr. David Garay Marín

Octubre 2022

BOCA DEL RÍO, VERACRUZ, MÉXICO



Instituto Tecnológico de Boca del Río
División de Estudios de Posgrado e Investigación

Boca del Río, Ver **28/SEPTIEMBRE/2022**

ASUNTO: AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN

**CÉSAR ADRIÁN GRANADOS BERNAL
PASANTE DEL PROGRAMA MAESTRÍA EN
CIENCIAS EN INGENIERÍA AMBIENTAL
PRESENTE**

De acuerdo con el fallo emitido por los integrantes del Comité Revisor de la TESIS PARA OBTENCIÓN DE GRADO, desarrollada por usted cuyo título es:

“EVALUACIÓN EMPLEANDO INTELIGENCIA ARTIFICIAL DEL GRADO DE CONTAMINACIÓN PLÁSTICA EN DOS PLAYAS DEL MUNICIPIO DE BOCA DEL RÍO, VERACRUZ, MÉXICO”

Esta División de Estudios de Posgrado e Investigación le concede AUTORIZACIÓN para que proceda a su impresión.

ATENTAMENTE
*Excelencia en Educación Tecnológica®
Por nuestros mares responderemos*

**DR. JUAN DAVID GARAY MARÍN
JEFE DE LA DIVISION DE ESTUDIOS DE
POSGRADO E INVESTIGACIÓN**



c.c.p. Coordinación del Programa MCIAMB
c.c.p. Expediente



Km. 12 Carretera Veracruz-Córdoba, Boca del Río, Ver. C.P. 94290.
Tel. (229) 690 5010 dir01_bdelrio@tecnm.mx | tecnm.mx | bdelrio.tecnm.mx



2022 Flores
Año de Magón
INVESTIGACIÓN ES LA REVOLUCIÓN MEXICANA

ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

Número Registro: A-01208-110221

En la ciudad de Boca del Río, Ver., siendo las 12:00 horas del día 28 del mes de septiembre de 2022 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis designada por el Consejo del Posgrado de la Maestría en Ciencias en Ingeniería Ambiental del ITBOCA, para examinar la Tesis de Grado titulada:

“EVALUACIÓN EMPLEANDO INTELIGENCIA ARTIFICIAL DEL GRADO DE CONTAMINACIÓN PLÁSTICOS EN DOS PLAYAS DEL MUNICIPIO DE BOCA DEL RÍO, VERACRUZ, MÉXICO.”

Que presenta el (la) alumno(a):

CÉSAR ADRIÁN GRANADOS BERNAL

Aspirante al Grado de:

Maestro en Ciencias en Ingeniería Ambiental

Después de escuchar las opiniones sobre el documento escrito e intercambiar puntos de vista, los miembros de la Comisión manifestaron SU APROBACIÓN, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes para su defensa ante el jurado correspondiente.

LA COMISIÓN REVISORA:



DR. ARTURO GARCÍA SALDAÑA
Director



DRA. FABIOLA LANGO REYNOSO
Codirector



DRA. VIRGINIA ALCÁNTARA MENDEZ
Asesor



Dr JUAN DAVID GARAY MARÍN
Asesor





“2020, Año del Leona Vicario, Benemérita Madre de la Patria”

Boca del Río, Veracruz, 21/Junio/2022

Asunto: **CESION DE DERECHOS Y NO PLAGIO**

**H. CONSEJO DE POSGRADO
PROGRAMA DE POSGRADO MAESTRIA EN CIENCIAS EN INGENIERIA AMBIENTAL
TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO/ INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BOCA DEL RÍO
PRESENTE**

En la Ciudad de Veracruz, Veracruz a los **_21_** días del mes **_Junio_** del año **2022_**. El que suscribe **___CÉSAR ADRIÁN GRANADOS BERNAL_** por mi propio derecho y en calidad de autor de la tesis titulada: **_____”EVALUACIÓN EMPLEANDO INTELIGENCIA ARTIFICIAL DEL GRADO DE CONTAMINACIÓN PLÁSTICA EN DOS PLAYAS DEL MUNICIPIO DE BOCA DEL RÍO, VERACRUZ, MÉXICO”** (en lo sucesivo la “TESIS”) manifiesto que cedo a título gratuito la totalidad de los derechos patrimoniales de autor que sobre ella me corresponden, a favor del Tecnológico Nacional de México (en lo sucesivo el “TecNM”). Lo anterior en términos de los antecedentes y consideraciones siguientes:

- I. Que la presente cesión de derechos de la “TESIS” se transfiere en virtud de lo estipulado en los establecido en los Lineamientos para la Operación de los Estudios de Posgrado en el Tecnológico Nacional de México, sin reservarme acción legal de ningún tipo.
- II. Manifiesto bajo protesta de decir verdad, que la “TESIS” es original, inédita y propia, no existiendo impedimento de ninguna naturaleza para la cesión de derechos que se está haciendo, respondiendo además por cualquier acción de reivindicación, plagio u otra clase de reclamación que al respecto pudiera sobrevenir.
- III. Que la titularidad de derechos de autor de la “TESIS” en términos del artículo 27 de la Ley Federal del Derecho de Autor (reproducción, en todas sus modalidades, transformación o adaptación, comunicación pública, distribución y en general cualquier tipo de explotación que de la “TESIS” se pueda realizar por cualquier medio conocido o por conocer, son propiedad única y exclusiva del “TecNM”, adquiriendo el derecho de reproducción en todas sus modalidades, el derecho de transformación o adaptación, comunicación pública, distribución y en general cualquier tipo de uso que de la “TESIS” se pueda realizar por cualquier medio conocido o por conocer. La cesión de derechos se realiza con carácter permanente e irrevocable.
- IV. El TecNM podrá exhibir la “TESIS” a través de cualquier medio, en cualquier parte del mundo, incluso ser modificada, comprendida, traducida y de cualquier forma explotada en su totalidad o parcialidad.
- V. Que no he otorgado, ni otorgaré por ningún motivo, consentimiento alguno para la utilización de la “TESIS” por cualquier medio y su materialización en productos o servicios de cualquier naturaleza, a favor de ninguna persona física o moral, distinta a el “TecNM”.





“2020, Año del Leona Vicario, Benemérita Madre de la Patria”

VI. Estoy enterado del contenido y alcance legal de la presente cesión de derechos, firmando al final del presente documento para su certificación.

Señalo como correo electrónico para recibir futuras notificaciones: m20990444@bdelrio.tecnm.mx .

Agradeciendo de antemano sus atenciones, le envío un cordial saludo

ATENTAMENTE

César Adrián Granados Bernal

NOMBRE Y FIRMA DEL ESTUDIANTE DE POSGRADO

c.c.p. Archivo



Dedicatoria

Dedico este trabajo a todas las personas que me han instruido y apoyado a lo largo de mi vida a seguir adelante ante la adversidad.

Agradecimiento

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por el apoyo económico a través de las becas nacionales para estudios de posgrado. Este apoyo se recibió en el periodo del 01/Septiembre/2020 al 31/Agosto/2022 y, registrado en el CVU 1083228. Sin él, este trabajo no hubiera sido posible.

Al Tecnológico Nacional de México (TecNM), por el gran esfuerzo de coordinar, apoyar y fomentar la creación de espacios de educación superior y de posgrados para la formación de profesionistas en México.

Al Instituto Tecnológico de Boca del Río (ITBoca), por aceptar, apoyar y asesorar este trabajo de investigación.

Al comité, que con sus conocimientos dirigieron este trabajo de investigación hasta su conclusión.

A mi familia, por su paciencia y soporte.

Resumen

Las playas son zonas de transición entre ambientes terrestres y marinos, que reciben, acumulan y emiten plástico por agua, aire y actividades antropogénicas. Este material se convierte en un contaminante que ocasiona afectaciones a la fauna, salud humana y el medio ambiente. Por lo tanto, las playas son propensas a presentar contaminación plástica. Sin embargo, los procesos dinámicos, las cuestiones geomorfológicas y climatológicas de las playas, dificultan el estudio del comportamiento de los plásticos en ellas. Por tales motivos, las aeronaves pilotadas a distancia e Inteligencia Artificial se están integrando recientemente como herramientas que solventen las dificultades en el estudio de los plásticos en playas.

Las playas del Municipio de Boca del Río muestran una presencia considerable de plásticos. Sin embargo, la información alrededor de este problema es escasa. Por ello, este trabajo evaluó el grado de contaminación plástica en dos de sus playas, las Playas Santa Ana y Mocambo. Entonces, se realizó una toma de muestra mensual en las temporadas de lluvias, frentes fríos y estiajes de los contaminantes plásticos en las playas Santa Ana y Mocambo del Municipio de Boca del Río mediante el uso de un RPA multirroto de cuatro hélices. Luego, se implementó una Inteligencia Artificial capaz de identificar contaminantes plásticos. Posteriormente, se aplicó una prueba estadística Kruskal-Wallis sobre la acumulación de contaminantes plásticos considerando una playa de control, Farallón. La prueba estadística, presentó diferencias significativas en las acumulaciones de los contaminantes plásticos para todas las playas de estudio. Finalmente, se realizó en 3,500 m² de cada playa un mapa con la distribución y acumulación de los contaminantes plástico y empleando el índice de costas limpias se concluyó un grado moderado o comprometido por contaminantes plásticos en las playas Santa Ana y un grado sucio o en riesgo de contaminación en Mocambo.

Palabras Clave: Contaminación plástica, Inteligencia Artificial, Índice de Costas Limpias.

Abstract

The beaches are transitional zones between terrestrial and aquatic environments, which receive, accumulate, and release plastic through water, wind, and anthropogenic activities. This material turned into a pollutant, which affects wildlife, human health, and the environment. Therefore, beaches are prone to plastic pollution. Nevertheless, the dynamics, geomorphological, and meteorological processes have hindered the study of plastics on beaches. For these reasons, remotely piloted aircraft (RPA) and artificial intelligence had used as tools to solve problems in studies of plastic on beaches. The beaches at Municipio of Boca del Río have a presence of plastic. However, information about this problem is scarce. Therefore, this study evaluates the grade of plastic pollution on two beaches, Santa Ana and Mocambo. Then, it took a monthly sample with a quadcopter RPA on Santa Ana and Mocambo beaches during rainy, windy, and dry seasons. Finally, it has implemented an Artificial Intelligence capable of identifying plastic pollutants. Subsequently, it applied a Kruskal-Wallis statistical test to prove an accumulation of plastic pollutants considering a beach of control, Farallón. The statistical test showed a significant difference between the three beaches, the two study beaches, and the beach control. Then, the Clean Coast Index was applied over the beaches and created plastic distribution and accumulation maps over 3,500 square meters on all beaches. Then, Santa Ana showed a moderate grade on the Clean Coast Index, and Mocambo showed a dirty grade on the Clean Coast Index. Therefore, Santa Ana is a beach exposed to plastic pollutants, and Mocambo is a beach at risk of plastic pollution.

Key Words: Plastic Pollution, Artificial Intelligence, Clean Coast Index.

Índice general

INTRODUCCIÓN	11
MARCO EPISTÉMICO	15
MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL	16
Cibernética.....	16
Inteligencia Artificial.....	17
Perceptrón.....	18
MARCO DE REFERENCIA	27
Antecedentes de los contaminantes plásticos en playas del Municipio de Boca del Río, Veracruz, México.....	27
Antecedentes de los contaminantes plásticos con el uso de Inteligencia Artificial.....	28
PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	30
Situación problemática.....	30
Delimitación del problema.....	31
Planteamiento del problema.....	32
Pregunta de investigación.....	34
Hipótesis.....	34
Justificación	34
OBJETIVOS	35
General	35
Particulares.....	35
MATERIALES Y MÉTODOS	36
Área de estudio.....	36
Herramienta de muestreo.....	39
Hardware.....	39
Toma de muestra.....	40
Métodos empleados	41
RESULTADOS Y DICUSION	47
1. Registro digital de las playas de Boca del Río	47

2. Ensamble del registro digital de las playas de Boca del Río.....	53
3. Delimitación de cuadrantes	54
4. Selección de una Inteligencia Artificial orientada a la detección de objetos...55	55
5. Creación de una base de datos para el entrenamiento de la Inteligencia Artificial.....	56
6. Reentrenar a la Inteligencia Artificial para la detección de materiales plásticos.	57
7. Complementar el modelo de la Inteligencia Artificial con la aplicación del Índice de Costas Limpias (Alkalay et al., 2007).....	57
8. Comparar mediante una prueba estadística las detecciones realizadas por la Inteligencia Artificial en las playas de estudio.....	59
Discusión.....	65
CONCLUSIONES.....	72
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	74

Índice de tablas

Tabla 1 <i>Marco teórico para este trabajo</i>	16
Tabla 2 <i>Funciones de activación más comunes</i>	20
Tabla 3 <i>Tratamientos contemplados en el experimento</i>	38
Tabla 4 <i>Indicadores que favorecen la acumulación de contaminantes plásticos</i>	40
Tabla 5 <i>Factores tomados en cuenta para la selección de una Inteligencia Artificial</i>	45
Tabla 6 <i>Prueba de duración de batería con el RPA</i>	47
Tabla 7 <i>Distancia máxima de vuelo estimada en metros</i>	48
Tabla 8 <i>Total de vuelos estimados</i>	49
Tabla 9 <i>Vuelos realizados en el experimento</i>	50
Tabla 10 <i>Resultados en la Inteligencia Artificial reentrenada</i>	57
Tabla 11 <i>Situación del plástico en playa Farallón entre el 2021 y 2022</i>	62
Tabla 12 <i>Situación del plástico en playa Mocambo entre el 2021 y 2022</i>	62
Tabla 13 <i>Situación del plástico en playa Santa Ana entre el 2021 y 2022</i>	63
Tabla 14 <i>Índice de referencia para establecer una situación de la contaminación plástica en las playas de estudio</i>	63
Tabla 15 <i>Modelos de RPA empleados en diferentes trabajos de investigación</i>	65
Tabla 16 <i>Diferencias técnicas en los RPA´s empleados en las investigaciones</i>	66
Tabla 17 <i>Tabla de resoluciones del terreno y áreas registradas en diferentes investigaciones</i>	68
Tabla 18 <i>Comparativa del desempeño de los modelos de inteligencia artificial para estimar la contaminación plástica</i>	69
Tabla 19 <i>Comparativa de las diferentes técnicas de inteligencia artificial empleadas en la detección de contaminantes plásticos</i>	70
Tabla 20 <i>Índice reinterpretado para presenciar una situación de la contaminación plástica en las playas</i>	71

Índice de Figuras

Figura 1. Componentes del Perceptrón	18
Figura 2. Capa de perceptrones.....	21
Figura 3. Componentes de una Red Neuronal Artificial	22
Figura 4. Red Neuronal Artificial Monocapa	24
Figura 5. Red Neuronal Artificial Multicapa	25
Figura 6. Red Neuronal Artificial Recurrente	25
Figura 7. Red Neuronal Artificial Convolutiva	26
Figura 8. Problemáticas relacionadas a los contaminantes plásticos.	31
Figura 9. Ubicación geográfica del área de estudio Santa Ana y Mocambo	36
Figura 10. Playa Farallón. Nota: es una playa ubicada en el Municipio de Actopan utilizada como unidad de control de una playa limpia.	37
Figura 11. Gráfica del diseño experimental considerado en la investigación.....	38
Figura 12. Serie de fotogramas clasificados de izquierda a derecha como calidad: baja, media, buena e ideal.....	48
Figura 13. Mosaico de imágenes de un segmento de playa Santa Ana	54
Figura 14. Segmento de un sub mosaico de imágenes de playas Mocambo con diferentes plásticos observables	54
Figura 15. Segmento de un mosaico de imágenes dividido en cuadrantes estandarizados de 1x1 metro aproximado	55
Figura 16 Gráfico de desempeño de la red convolutiva Yolov4. Nota: gráficas recuperadas de (Bochkovskiy et al., 2020).	55
Figura 17. Base de datos representando los casos de detección y plásticos con los que se reentrenó la red convolutiva Yolov4.	56
Figura 18. Archivo de texto con las clases utilizadas por la red convolutiva Yolov4 reentrenada.	57
Figura 19. Archivo de texto con las clases utilizadas por la red convolutiva Yolov4 reentrenada	57
Figura 20. Diagrama de procesos y resultados del módulo externo.....	58
Figura 21. Archivo de texto con resultados almacenados del módulo externo del índice de Costas Limpias de una playa por cuadrante	58
Figura 22. Prueba no paramétrica empleada para determinar si las playas de estudio presentan una acumulación de plástico. Nota: (playa 1) Mocambo, (playa 2) Santa Ana y (playa 3) playa de control, Farallón.	59
Figura 23. Diagrama de caja del promedio de la densidad de plástico por metro cuadrado. Nota: (playa 1) Mocambo, (playa 2) Santa Ana y (playa 3) playa de control, Farallón.	60
Figura 24. Resultados mensuales en formato de texto de los estados de contaminación estimada.....	60
Figura 25. Información contenida en un resultado mensual en formato de texto.	61

Figura 26. Mapa de incidencia anual de los contaminantes plásticos en paya Farallón, Actopan. Nota: las tonalidades de rojo reflejan la saturación de plástico en el área estimada, la tonalidad verde refleja la ausencia de plástico y la flecha en negro indica la dirección en la que se concentra el plástico.64

Figura 27. Mapa de incidencia anual de los contaminantes plásticos en playa Mocambo, Boca del Río, Veracruz. Nota: las tonalidades de rojo reflejan la saturación de plástico en el área estimada, la tonalidad verde refleja la ausencia de plástico y la flecha en negro indica la dirección en la que se concentra el plástico.64

Figura 28. Mapa de distribución y concentración de contaminantes plásticos en playa Santa Ana, Boca del Río, Veracruz. Nota: las tonalidades de rojo reflejan la saturación de plástico en el área estimada, la tonalidad verde refleja la ausencia de plástico y la flecha en negro indica la dirección en la que se concentra el plástico.65

INTRODUCCIÓN

El plástico es un nombre generalizado de los materiales compuestos de polímeros sintéticos, los cuales, fueron desarrollados y sintetizados por primera vez en 1907 con el polímero sintético baquelita (Baekeland, 1909, 1910; Science_History_Institute, 2022). Este material comprendía la propiedad de ser bajo en conductividad térmica y eléctrica, de baja densidad y ser viscoelásticos; lo que le atribuía características como ligereza, persistencia, resistencia, maleabilidad, aislante térmico y eléctrico; características importantes para su época. A partir de entonces se crearon otros polímeros sintéticos relevantes como en 1920; el Polivinilo de Cloruro (PVC), en 1930; el Poliestireno, en 1933; el Polietileno, en 1941; el Polietileno Teraftalato (PET); y en 1954; el Polipropileno. Con lo anterior, se generó una amplia variedad de materiales sintéticos comercializándose que podían cumplir con la misma finalidad de un producto, de tal manera que el lenguaje fue simplificándose socialmente hasta ser generalizado como “plástico”. De esta manera, a partir de los años 60’s se produjo este material de forma masiva, y su producción incremento de forma constante cada año, (Thompson et al., 2009).

Al mismo tiempo, los años 60’s marco el inicio de la acumulación del plástico en el ambiente, (Thompson et al., 2009); con ello, el inicio de la contaminación plástica. Las causas relacionadas eran principalmente por su composición de origen antropogénica o sintética, es decir, una composición que no puede formarse de manera natural en el ambiente; por lo tanto, resulta difícil para el ambiente degradarlo. En este sentido, factores como la radiación ultravioleta (rayos UV), la exposición a altas temperatura, reacciones químicas y de biodegradación, así como, la bio-desintegración y el estrés mecánico en el ambiente pueden degradar el plástico, (Zhang et al., 2021). Sin embargo, los procesos ocurren muy lentamente y deben pasar años para ser perceptibles (Chamas et al., 2020). Otra causa es la dispersión y posterior acumulación del plástico por tres medios distintos, el agua, aire y las actividades antropogénicas, donde sino se encuentran obstruidos o las fuerza para ser transportando en alguno de los medio merma, el plástico termina en los océanos, (Elías, 2015). Finalmente, la última causa se desarrollaba en las zonas donde el plástico es obstruido o estancado, las cuales son zonas de acumulación y en otras de transición de plástico, y en ellas pueden observarse mayores concentraciones de este material, así como, los diferentes tamaños del proceso de degradación y fragmentación, (Lechthaler et al., 2020). En este sentido los tamaños de plástico que se encuentran en el proceso de fragmentación del plástico causado por una degradación son Nano Plásticos, aquellos

menores a 1 mm; los Micro Plásticos, mayores a 1 mm y menores a 5 mm; Meso Plásticos, aquellos mayores a 5 mm y menores a 25 mm; y Macro Plásticos, aquellos mayores a 25 mm.

Las afectaciones del plástico que se degrada y acumula en el ambiente impacta en la vida silvestre, ocasionando la obstrucción de partes del cuerpo, el atrofio de las mismas, la ingesta de estos confundidos con sus presas, la intoxicación y en algunos casos su muerte, lo que los vuelve un peligro para la misma, (Carpenter y Smith, 1972; Coleman y Wehle, 1984). Por otro lado, el hombre también presenta afectaciones a manera de daños económicos, estéticos y de salud. Por tales motivos, en los años 70's se reconoce a la acumulación de plásticos y sus afectaciones en el ambiente y para el hombre como una contaminación plástica, y a los plásticos como contaminantes que lo ocasionan. De esta forma, se prestó atención en entender las interacciones y el ciclo de vida de los contaminantes plásticos. Este último, consiste en una producción, distribución, consumo, generación de residuos y, de acuerdo con el caso, recolección y/o dispersión.

Si bien se entiende que la presencia y afectaciones de la contaminación plástica afectan de forma general el planeta, de manera local en las distintas regiones de este, sus afectaciones no necesariamente son de la misma manera. Entonces, las afectaciones en un área cerrada como los lagos y en una abierta como los ríos son diferentes en la mayoría de los casos; en procedencias del contaminante plástico, formas de transporte, concentraciones, factores dominantes de degradación y en la presencia de zonas de acumulación. En este sentido, las regiones como las playas son zonas de transición y acumulación de contaminantes plásticos, es decir, pueden recibir, enviar y acumular dichos contaminantes; en específico en las playas sucede la transición de contaminantes plásticos de ambientes terrestres a ambientes marinos y viceversa, (Elías, 2015; Lechthaler et al., 2020; Schwarz et al., 2019). Aunado a ello, el viento, su morfología, tamaño, las mareas, el oleaje y las temporadas provocan que el ambiente en las playas sea dinámico, mecánico y cinemático, (Luijendijk et al., 2018). Por lo tanto, bajo este sentido los estudios y problemas de los contaminantes plásticos que se encuentran en una playa no necesariamente son y ocurren de la misma manera en otras playas y regiones.

Pese a la variabilidad interna que presentan las playas existen características generales externas que nos permiten ubicar, describir y clasificar las regiones de una playa y sus alrededores. En este sentido, desde una perspectiva geomorfológica las playas se encuentran en la zona litoral. Esta zona litoral se encuentra dividido en Supra litoral, Meso litoral o litoral e Infra litoral, (Shepard, 1973). El supra litoral, se subdivide en regiones donde se encuentran las dunas, línea de costa,

berma de tormenta y termina en la berma de marea alta o línea de marea alta; el meso litoral, se subdivide y parte de la berma de marea alta o línea de marea alta, nivel medio del mar o línea media del mar y termina en la línea de marea baja; y el infra litoral se subdivide y empieza en la línea de marea baja y termina en la zona de rizadura simétrica o zona de olas simétricas con influencia en el fondo, (Carranza-Edwards y Caso-Chávez, 1994). En el mismo sentido, al trabajar solo con el ambiente terrestre o en dado caso el ambiente marino de las playas, estas se subdividen tomando en cuenta la división litoral en playa alta y playa baja. La playa alta considera la región correspondiente al supra litoral, que es al mismo tiempo el dominio terrestre de la playa; por el contrario, la playa baja considera la región del meso e infra litoral, el cual es al mismo tiempo el dominio acuático de la playa.

Las cuestiones internas y externas de las playas fomentan la búsqueda de métodos de estudios que expliquen de mejor manera las situaciones que están ocurriendo en ellas, ya que es inevitable la generalización con el objetivo de poder explicar el problema de interés. Por ello, las playas abordan diferentes perspectivas para explicar con mayor certeza los procesos que suceden en ellas. En este sentido, en el estudio de los contaminantes plásticos de la playa alta, se encuentran de manera generalizada métodos de estudio intercalando áreas de la playa de forma perpendiculares a la costa , paralelos a la costa y recientemente mediante drones con o sin inteligencia artificial en donde se ha optado por una malla que cubre las regiones deseadas de la playa, (Gonçalves, Andriolo, Pinto, y Duarte, 2020; Tavares et al., 2020). No obstante, en el uso de uno u otro método se considera de acuerdo con los recursos disponibles, objetivo del trabajo, precisión, espacio observado, tiempo de análisis y velocidad de registro frente al ruido que las playas objetivo genera.

En México el litoral no insular se extiende en 11, 122 km a lo largo de 17 estados del país, (INEGI, 2020). Este litoral supone una problemática para la gestión de los contaminantes plásticos que se reciben y emiten. Con ello, estas regiones son susceptibles a la contaminación plástica. Más aún, el Municipio de Boca del Río se encuentra ubicado en el estado de Veracruz en el Golfo de México, y forma parte de este territorio no insular susceptible a la contaminación plástica. En este sentido, las playas del Municipio de Boca del Río están presenciando una acumulación de contaminantes plásticos y supone una contaminación plástica. Aunado a ello, es una región con pocos estudios sobre este tema que impide el conocimiento real de la situación. En este sentido, es una oportunidad de estudio referente a la contaminación plástica. Entonces, se estudió la contaminación plástica por medio de la presencia y acumulación de contaminantes plásticos de la playa alta o *backshore* de dos playas; Santa Ana y Mocambo ubicadas en el Municipio de Boca

del Río, considerando una playa control Farallón, ubicada en el Municipio de Actopan. Aunado a ello, este Municipio colinda con dos reservas naturales protegidas; Arroyo Moreno y Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano (PNSAV); y las playas del Municipio de Boca del Río presenta un valor económico, de servicio ambiental y estético. Al mismo tiempo, este trabajo propone una metodología basada en el uso de Sistemas de Aeronaves Pilotadas a Distancia (RPAS) e Inteligencia Artificial para el monitoreo de contaminación plástica en las playas. Por tales motivos, se planteó una hipótesis fundamentada en la teoría ambiental y de Inteligencia Artificial que permita atender las problemáticas del estudio de la contaminación plástica y su evaluación mediante una inteligencia artificial. Por lo tanto, el objetivo central del trabajo consiste en evaluar mediante la Inteligencia Artificial la contaminación plástica en dos playas del Municipio de Boca del Río.

MARCO EPISTÉMICO

Los científicos de manera natural presentan filtros preteóricos o precognitivos que condicionan, inconscientemente, el modo en que se crea el conocimiento. Entonces, si se parte de la perspectiva de cada uno de los científicos sobre cómo se crea el conocimiento y las vías legítimas de producción y validación, se observa que el conocimiento mismo se vuelve subjetivo. Estos motivos sugieren necesario un metalenguaje que permita hablar del conocimiento desde una perspectiva no tan subjetiva. De esta manera, se agrupan marcos generales de concepciones preteóricas o precognitivas comunes como el marco Cualitativo, Cuantitativo, Empirista, Racionalista, Idealista y Realista, (Padrón, 2007). Sin embargo, es inevitablemente que intervengan estos filtros. Entonces, “el enfoque epistemológico vendría a ser una función que transforma determinadas convicciones de fondo, inobservables, de tipo ontológico y gnoseológico, en determinados estándares de trabajo científico, estándares asociables a las distintas comunidades académicas”, (Padrón, 2007, p. 2). No obstante, estos marcos generales de concepción presentan carencias propias de la forma en que crean el conocimiento, y vuelve necesario una concepción consciente del enfoque epistemológico que permita solventar estas carencias existentes. A causa de esto, se sugiere agrupar las preconcepciones en cuatro enfoques distintos el Empirista-Realista, el Empirista-Idealista, el Racionalista-Realista y Racionalista-Idealista, (Padrón, 2007). De tal manera que, ambas partes solventen en mayor medida las carencias de la otra. De la misma forma, esta investigación utilizó un enfoque racionalista-realista para llevarse a cabo, en donde, la variable gnoseológica fue mediante un enfoque racionalista y la variable ontológica mediante un enfoque realista. Por lo que, se llevó a cabo una abstracción con el uso de sistemas lógicos-matemáticos y una deducción controlada para llevar a cabo la percepción y creación del conocimiento. Finalmente, se validó este conocimiento a través del falsacionismo, es decir, a través de una investigación guiada por un marco teórico verosímil y provisional, el cual comprueba hipótesis anteriores para realizar una nueva hipótesis que, se intentó falsear a lo largo de la investigación.

MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

A continuación, se mencionan las teorías que proporcionan las bases para la hipótesis plausible, así como los conceptos necesarios para el desarrollo de este trabajo de investigación.

Tabla 1

Marco teórico empleado para este trabajo

Teoría General	Teoría Constitutiva	Modelo
Norbert Weiner (1948)	Jon McCarty, Marvin L. Minsky, Nathan Rochester y Claude E. Shannon (1956)	Frank Rosenbaltt (1958)
Cibernética (Teoría General de Sistemas)	Inteligencia Artificial	Perceptrón

Cibernética

La cibernética enfoco sus estudios en los sistemas de regulación. Con ello, integro en su enfoque la teoría de sistemas, teoría de la información y teoría del control, para explicar los procesos complejos que ocurrían de forma natural en la comunicación, regulación e interacción de los seres vivos. Así, se define a la Cibernética del griego “*kybernetes*”, que significa “arte del piloto o timonel” o “gobierno”; y en 1948 Norbert Weiner expone en su libro Cibernética el enfoque y los objetivos principales, (American_Society_for_Cybernetics, 2022; Wiener, 1961). En este sentido, bajo este enfoque los medios naturales de regulación, interacción y comunicación en los seres vivos seguían un comportamiento sistemático o de sistemas que podían ser imitados por la máquina. Sin embargo, a diferencia de los sistemas vivos que naturalmente nacieron regulados, los maquinas requerían de un subsistema controlador que permitiera dirigir la información de las entradas del sistema a una salida esperada. Estos sistemas generaron inesperadamente sistemas autorregulados, es decir, sistemas que ajustaban sus procesos para cumplir objetivos específicos. Por estos motivos, los sistemas que estudiaba la cibernética se diferenciaron de los sistemas, recibiendo el nombre de sistemas cibernéticos.

Inteligencia Artificial

La Inteligencia Artificial se deslinda de la Cibernética por intereses divididos en 1956. A diferencia de la Cibernética, la Inteligencia Artificial centro sus estudios en modelar el comportamiento de un sistema vivo en concreto; el cerebro. De esta manera, es fundada con Marvin Minsky, John McCarty, Nathan Rochester y Claude Shannon durante una reunión de dos meses en Dartmouth College en 1956, (Dick, 2019). Con el objetivo de estudiar el cerebro y sus subsistemas, se propuso estudiar los componentes biológicos que le permitían al ser humano generar el pensamiento y conocimiento; la neurona. De esta manera, era posible formular y representar en ecuaciones matemáticas a la neurona, y representar o imitar estos procesos biológicos que generasen el pensamiento y conocimiento de forma artificial. Sin embargo, con el tiempo y una mayor comprensión de estos procesos cognitivos del cerebro, se concluyó que el objetivo inicial de la reunión de Dartmouth College era muy ambicioso. A pesar de ello, esta idea inicial, se ha fragmentado en distintas visiones de investigación en áreas como la matemática, la psicología, la lingüística, economía y las ciencias cognitivas. Al mismo tiempo, esta fragmentación, ha causado la inconsistencia de un concepto unificado de la Inteligencia Artificial en donde (Russell y Norving, 2004) clasifica los conceptos de Inteligencia Artificial en:

- Sistema que piensan como humanos.
 - La automatización de actividades que vinculamos con procesos de pensamiento humano, actividades como la toma de decisiones, resolución de problemas, aprendizaje..., (Bellman, 1978).

- Sistemas que actúan como humanos
 - El arte de desarrollar máquinas con capacidad para realizar funciones que cuando son realizadas por personas requieren de inteligencia, (Kurzweil, 1990).
 - El estudio de cómo lograr que los computadores realicen tareas que, por el momento, los humanos hacemos mejor, (Rich y Knight).

- Sistemas que piensan racionalmente
 - El estudio de las facultades mentales mediante el uso de modelos computacionales, (Charniak y Mc Demont, 1985).
 - El estudio de los cálculos que hacen posible percibir, razonar y actuar, (Winston, 1992).

- Sistemas que actúan racionalmente
 - La inteligencia computacional es el estudio del diseño de agentes inteligentes, (Poole et al., 1998).
 - IA... está relacionada con conductas inteligentes en artefactos, (Nilsson, 1998).

Este trabajo aborda a la inteligencia artificial desde la perspectiva de sistemas que actúan como humanos y se entiende a la Inteligencia Artificial como “sistemas y algoritmos que buscan imitar por medio de una máquina comportamientos inteligentes” (Rosano, 2002).

Perceptrón

Este modelo se encuentra inspirado en el modelo conexionista biológico del cerebro que utiliza a las neuronas para su funcionamiento. Estas neuronas, están presentes en la mayoría de los seres vivos; a través de impulsos eléctricos que reciben las neuronas, analizan y procesan información que reciben los seres vivos al interactuar con el ambiente, y finalmente envían una respuesta acorde. Con este enfoque, se propone el perceptrón, un modelo matemático que trata de imita el comportamiento de las neuronas en las maquinas, (Rosenblatt, 1958). Así mismo, se observan sus componentes en la Figura 1.

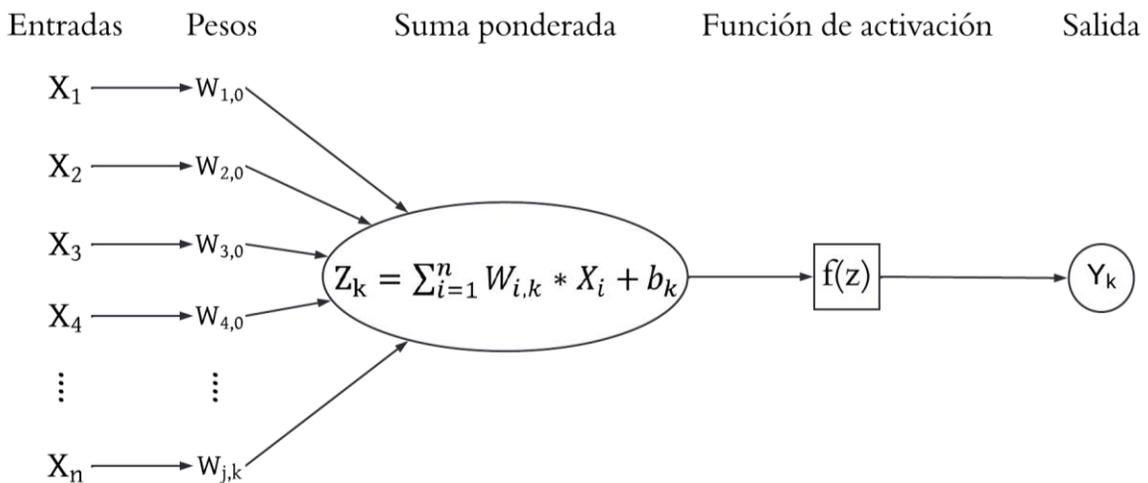


Figura 1. Componentes del Perceptrón

En este sentido el perceptrón se compone de los siguientes elementos:

VARIABLES DE ENTRADA O INPUTS

Son valores cuantitativos y cualitativos convertidos a valores cuantitativos, relevantes para llevar a cabo un estímulo que permita la solución de un problema planteado.

$$X = [X_1 \dots X_n]$$

PESOS O WEIGHTS

Representan las intensidades con la que las variables de entrada son relevantes para llevar a cabo un estímulo.

$$W = [W_{1,0} \dots W_{j,k}]$$

SESGO

Representa la intensidad independiente de las variables de entrada para llevar a cabo un estímulo. Es una intensidad única para cada perceptrón.

$$b = c_k$$

FUNCIÓN SUMATORIA

Es una función que simplifica las intensidades de los pesos, variables de entrada y del sesgo en un estímulo numérico que puede ser puesto a prueba por una función de activación.

$$z_k = \sum_{i=1}^n W_{i,k} * X_i + b_k$$

FUNCIÓN DE ACTIVACIÓN

Es una función umbral lineal o no lineal que determina si el estímulo producido previamente, es o no significativo para llevar a cabo la solución de un problema planteado.

$$f(z) = \text{Identidad, Escalonada, Sigmoidal, Gaussiana, Sinusoidal, etc.}$$

Tabla 2*Funciones de activación más comunes*

Nombre	Función propuesta	Rango
Identidad	$f(z) = z$	$[-\infty, +\infty]$
Escalón	$f(z) = \text{sing}(z)$	$[-1, +1]$
	$f(z) = H(z)$	$[0, +1]$
Sigmoidal	$f(z) = \frac{1}{1 + e^z}$	$[0, +1]$
	$f(z) = H(z)$	$[-1, +1]$
Gaussiana	$f(z) = Ae^{-Bz^2}$	$[0, +1]$
Sinusoidal	$f(z) = A \text{sen}(w * z + \varphi)$	$[-1, +1]$
Hiperbolica tangente (TanH)	$f(z) = \frac{e^z - e^{-z}}{e^z + e^{-z}}$	$(-1, +1)$
Rectificacion lineal uniforme (ReLU)	$f(z) = \max(0, z)$	$[0, +1]$
Softmax	$f(z) = e^{z_j} / \sum_{k=1}^k (e^{z_k})$	$[-1, +1]$

Variables de salida u Outputs

Es una variable cualitativa o cualitativa-cuantitativa que representa el estímulo producido por la función de activación que, de acuerdo con el caso, funge como variable de entrada a otro perceptrón o la solución estimada de un problema planteado.

$$Y_i = f(z)$$

$$a_{(n+1)} = f(z)$$

Sin embargo, para resolver problemas complejos; donde la información requiere ser relacionada en diferentes casos y regiones, un solo perceptrón se encuentra limitado en capacidad. Entonces, con el incremento en la complejidad de la respuesta es necesario coordinando el uso de más perceptrones. Con ello, primeramente, se formaron las Capas y posteriormente las Redes Neuronales Artificiales.

Capa o Layer

Es una estructura con uno o más perceptrones, conexiones, funciones y algoritmos matemáticos definidos, que tienen la capacidad de procesar y establecer relaciones en la información que se le es proporcionada.

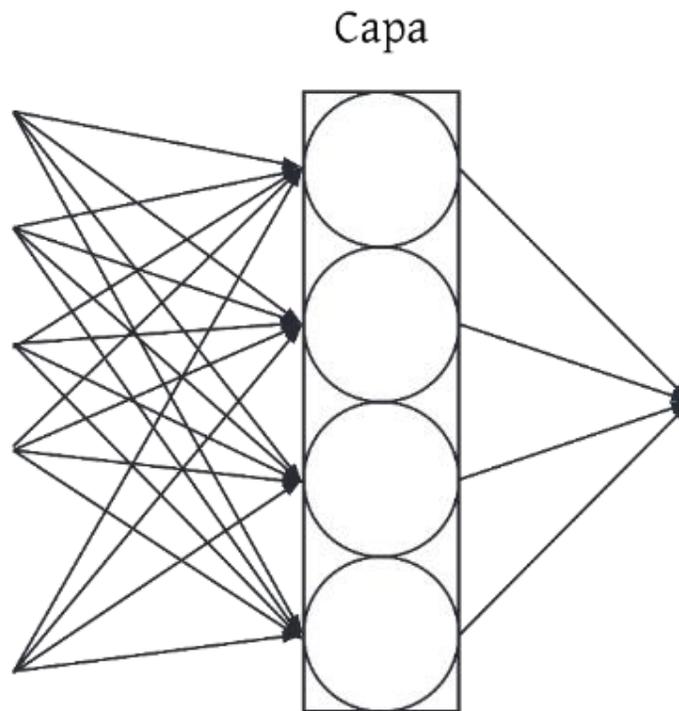


Figura 2. *Capa de perceptrones*

Redes Neuronales Artificiales

Son el conjunto de dos o más capas interconectadas con la capacidad de resolver una o varias problemáticas a través de la información que se les es proporcionada directa o indirectamente. No obstante, otra definición válida es: son el conjunto de dos o más estructuras interconectadas con perceptrones, conexiones, funciones y algoritmos matemáticos definidos, que tienen la capacidad de resolver una o varias problemáticas a través de procesar y establecer relaciones en la información proporcionada directa o indirectamente.

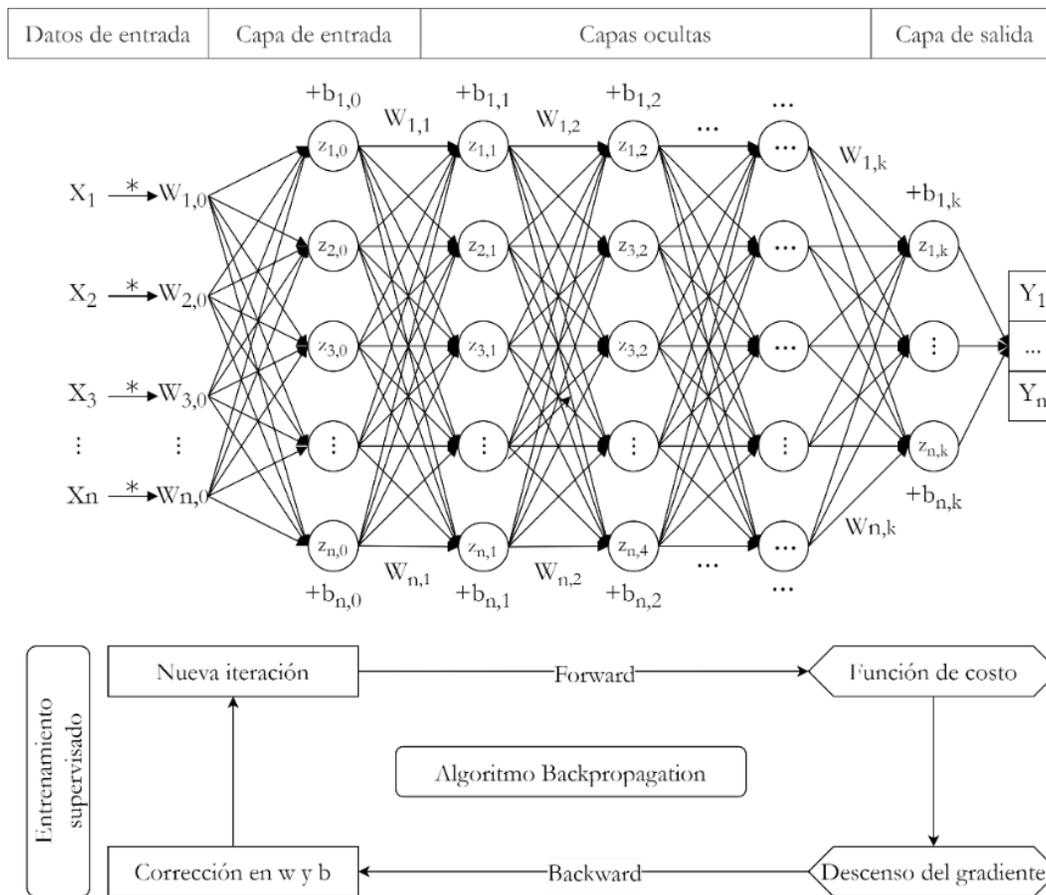


Figura 3. Componentes de una Red Neuronal Artificial

Datos de entrada

Es información cuantitativa y cualitativa-cuantitativa, de la cual una red neuronal artificial substraerá características y establecerá relaciones para llevar a cabo la resolución de una problemática.

Capa de entrada

Es el conjunto de capas que, a partir de los datos de entrada, subtrae y envía características a la capa oculta.

Capa oculta

Es el conjunto de capas que a partir de las características que recibe de la capa de entrada, subtrae, homogeniza y envía las características más importantes a la capa de salida.

Capa de salida

Es la capa que determina y envía un resultado posible a partir de las características que recibe de la capa oculta.

Algoritmo de aprendizaje

Es el conjunto ordenado y finito de operaciones que permiten autocorregir el desempeño de una red neuronal artificial.

Entrenamiento

Es el proceso iterativo por el cual los algoritmos de aprendizaje autocorrigen el desempeño de una red neuronal artificial.

Tipos de aprendizaje

Aprendizaje Supervisado

Son algoritmos de aprendizaje que supervisan el entrenamiento mediante el conocimiento previo de la respuesta.

No supervisado

Son algoritmos de aprendizaje que no contemplan el conocimiento previo de la respuesta, en cambio, utilizan los datos de entrada en el entrenamiento para estimar una respuesta.

Hibrido

Son algoritmos de aprendizaje que combinan el aprendizaje supervisado y no supervisado.

Por refuerzo

Son algoritmos de aprendizaje que en el entrenamiento califican la respuesta estimada mediante una señal de refuerzo.

Algoritmo de Retro propagación o *Backpropagation*

Es un algoritmo de aprendizaje supervisado que emplea un entrenamiento en los perceptrones de una red neuronal artificial, con base al error calculado entre la respuesta estimada y esperada, corrigiendo agresivamente a aquellos perceptrones con una participación mayor en el error.

Función de coste o pérdida

Es la función que calcula el error de la respuesta estimada con respecto a la respuesta esperada.

Función del error cuadrática media

$$f(j) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2$$

Arquitectura de redes neuronales artificiales

Es el estudio de redes neuronales artificiales con capas definidas previamente; con ello, muestran un mejor desempeño frente a una problemática preestablecida.

Monocapa

Son arquitecturas con una única capa oculta.

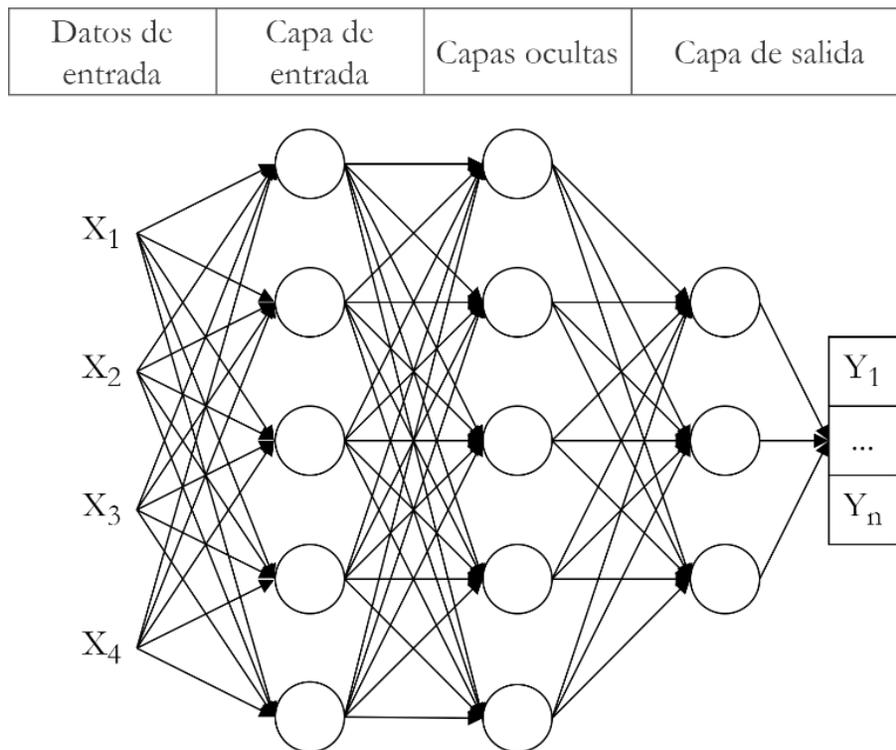


Figura 4. Red Neuronal Artificial Monocapa

Multicapa

Son arquitecturas con dos o más capas ocultas en donde sus perceptrones pueden estar o no completamente conectados.

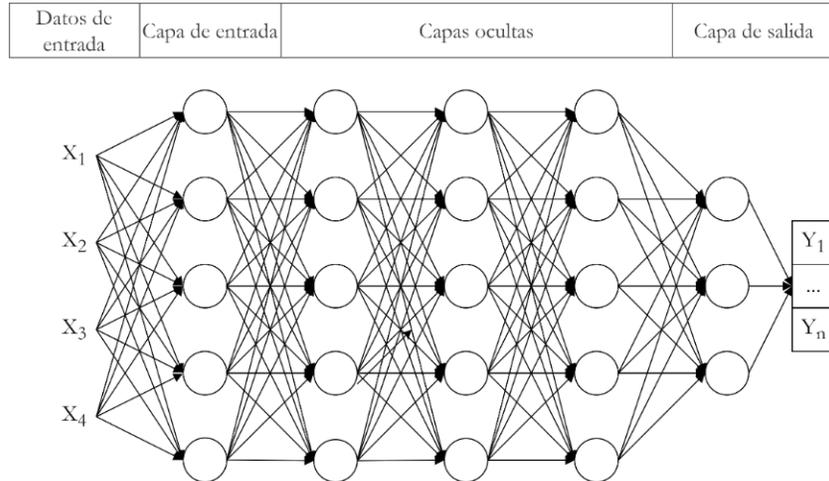


Figura 5. Red Neuronal Artificial Multicapa

Recurrentes

Son arquitecturas con dos o más capas ocultas que establecen conexiones completas o incompletas, hacia perceptrones previos en capas anteriores y de autorreferencias.

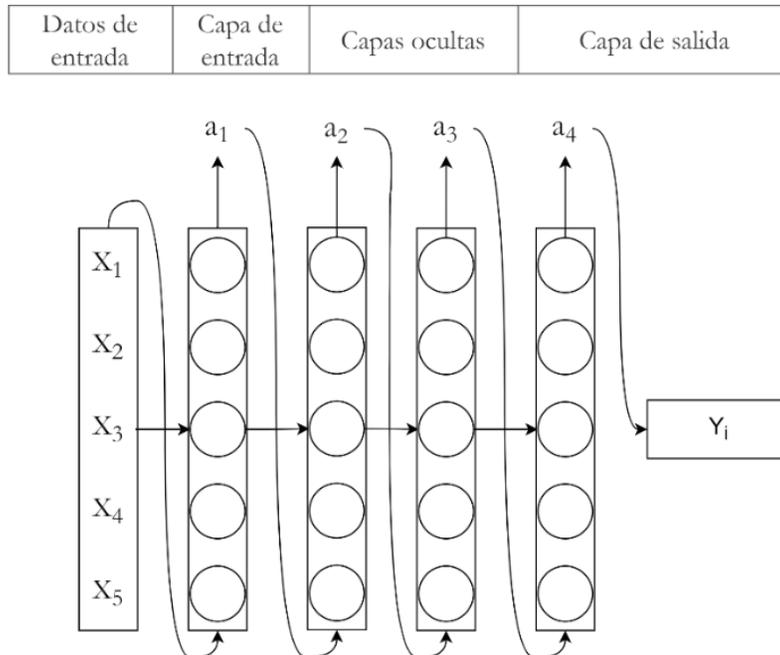


Figura 6. Red Neuronal Artificial Recurrente

Convolutacional

Es una arquitectura multicapa que previamente reduce el número de características de procesamiento mediante la convolución de sus datos de entrada con filtros definidos y autorregulados.

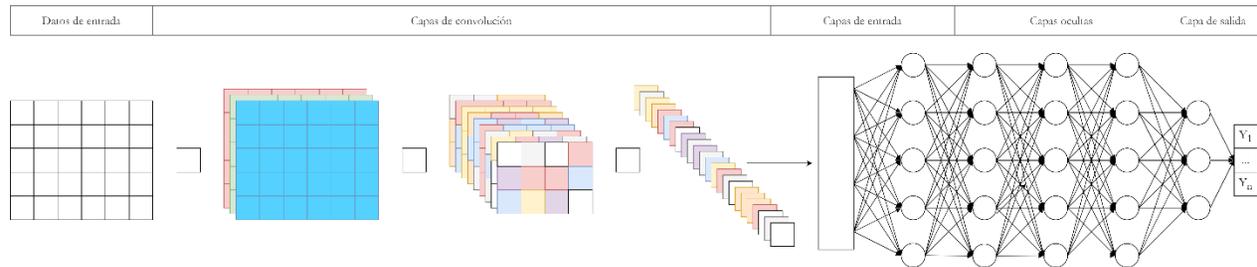


Figura 7. Red Neuronal Artificial Convolutacional

MARCO DE REFERENCIA

Antecedentes de los contaminantes plásticos en playas del Municipio de Boca del Río, Veracruz, México.

En Ortiz-Lozano et al. (2005) mediante un equipo de trabajo, revisión bibliográfica y análisis *in-situ*, analizaron y clasificaron el impacto ocasionado por origen antropogénico o factores naturales en el ecosistema costero de 42 ciudades importantes de la Zona Costera Mexicana, dividiéndolo la influencia del impacto en distintas áreas de acción: pesquería y acuacultura, agricultura, industria, turismo y recreación, puertos, desarrollo urbano, presencia de basura, destrucción del hábitat y descarga de aguas residuales. En la costa de Veracruz Puerto se clasificó en el apartado del turismo y la recreación un impacto intenso y por la presencia de basura uno severo; En las costas de Boca del Río en el apartado del turismo y la recreación presento un impacto severo y por la presencia de basura uno intenso. Así mismo, Ortiz-Lozano et al. (2015) mediante el estudio de la zona costera de Punta Gorda hasta la Punta Antón Lizardo, evaluó la sensibilidad y el riesgo que resulta en una vulnerabilidad en sus componentes terrestres y marinos, determinó que en el corredor Veracruz-Boca del Río-Medellín se encuentra en un estado de vulnerabilidad de alto riesgo en su componente marino (se incluye al litoral), derivado de las actividades, desechos y demanda de servicios e infraestructura. Por otro lado, López (2018) mediante la cuantificación de residuos sólidos plásticos en tres playas de turísticas de Veracruz determina que pese a otros objetos plásticos mayores a 10 cm encontrados, la pedacearía es aquel residuo solido plástico con mayor dominancia en las playas. Además, existe una diferencia significativa en la abundancia de residuos sólidos plásticos entre la playa turística de Antón Lizardo con respecto a las playas turísticas Vicente Fox (Santa Ana) y Villa del Mar. En este sentido, Cepero et al. (2018) mediante un equipo de trabajo y los estándares de la NMX-AA-120-SCFI-2006 realizaron una evaluación diagnóstica de dos playas del Municipio de Boca del Río, determinando en el ámbito de la calidad sanitaria una ineficiencia en el manejo de residuos sólidos en ambas playas, lo que las hace susceptibles a causar afectaciones sanitarias y estéticas. Finalmente, Narciso-Ortiz et al. (2020) mediante un equipo de trabajo evaluaron la presencia de contaminantes plásticos e hidrocarburos en los ríos de La Antigua y Jamapa y en los arrecifes de Gallega y Punta Gorda, aunado a una identificación de plásticos en sedimentos de seis playas del estado de Veracruz en los Municipios de Veracruz y Boca del Río, en donde se encuentran e incluyen a las playas de Mocambo y Santa Ana (como Boca del Río). Con ello, determinaron la presencia de micro plásticos e hidrocarburos en ambos arrecifes y en uno de los ríos, así como, plástico en sedimento con una representatividad de 1 % en mega plásticos, 46 % en macro plásticos, 24 % en meso plásticos y

29 % en micro plásticos; de tal manera que los macro plásticos son aquellos con mayor abundancia en las playas estudiadas en el Municipio de Veracruz y Boca del Río; en especial, la playa Mocambo presentó plásticos en sedimento en tres plásticos por metro cuadrado mientras que la playa Santa Ana presento siete plásticos por metros cuadrados.

Antecedentes de los contaminantes plásticos con el uso de Inteligencia Artificial

En Martin et al. (2018) mediante un equipo de trabajo, el uso de RPA, técnicas de fotogrametría y herramientas de Inteligencia Artificial, implementaron una metodología de censo remoto con *machine learning* basado en *Random Forest* para la basura marina y la compararon con las metodologías de censo visual y censo remoto de forma manual en playas arenosas de la costa norte del Mar Rojo en Arabia Saudita. En el mismo sentido, Fallati et al. (2019) utilizando un RPA, técnicas de fotogrametría y un software ad-hoc de Inteligencia Artificial, implementaron una metodología de censo remoto con *machine learning* ad-hoc basado en *Convolutional Neural Networks* para la basura marina en playas arenosas de tres costas de las islas de la República de Maldivas. De manera semejante Gonçalves, Andriolo, Pinto and Bessa (2020) por medio de un RPA, técnicas de fotogrametría e Inteligencia Artificial, implementaron una metodología de censo remoto con *machine learning* basado en *Random Forest* para la basura marina, al mismo tiempo que por medio de las imágenes obtenidas por las técnicas de fotogrametría se realiza un modelo hidrodinámico y se distingue y clasifica las diferentes entidades geomorfológicas presentes en el sistema de dunas en una playa arenosa de la costa este de Portugal. Así mismo, Gonçalves, Andriolo, Pinto and Duarte (2020) mediante un equipo de trabajo, el uso de RPA, técnicas de fotogrametría e Inteligencia Artificial, compararon las metodologías de censo remoto de localización manual y con *machine learning* basados en *Random Forest* y *Convolutional Neural Networks* en una playa arenosa de la costa este de Portugal. En este sentido, Gonçalves, Andriolo, Gonçalves, et al. (2020) utilizando un RPA, técnicas de fotogrametría e Inteligencia Artificial, implementaron las metodologías de censo remoto con *machine learning* basados en *Support Vector Machine* (SVM) y *K-Near Neighbour* (KNN) y la compararon con la metodología de censo remoto con *machine learning* basado en *Random Forest* (RF) en una playa arenosa de la costa este de Portugal. Por otro lado, Papakonstantinou et al. (2021) mediante un equipo de trabajo, el uso de RPA e Inteligencia Artificial, propone el uso de la ciencia ciudadana como alternativa para la obtención y etiquetado de datos en el uso de las metodologías de censo remoto con *machine learning* basados en *Convolutional Neural Networks* (CNN) y compararon diferentes arquitecturas de CNN para la cuantificación de basura marina en una playa arenosa de Lesbos en Grecia. Así mismo, Martin et al. (2021) utilizando un equipo de trabajo, RPAS, técnicas de

fotogrametría e Inteligencia Artificial, analizaron mediante la metodología de censo remoto con *machine learning* basado en *Convolutional Neural Networks* (CNN) y clasificaron la basura marina de 44 playas arenosas de la costa del Mar Rojo de Arabia Saudita. Finalmente, Pinto et al. (2021) por medio de un RPA, técnicas de fotogrametría e Inteligencia Artificial, implementaron y compararon dos metodologías de censo remoto con basadas en *Convolutional Neural Networks* (CNN); aproximación por color dando una clasificación binaria y por objeto dando una clasificación multiclase, en una playa arenosa de la costa este de Portugal.

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

Situación problemática

Los plásticos son material que se observan en todos los niveles de la sociedad, desde su uso en la industria como: refacciones, piezas de maquinaria y equipo de protección; hasta en la vida cotidiana como: contenedores de alimento, ropa, muebles y accesorios del hogar, (Andrady, 2009). Esto los ha vuelto indispensables para el hombre. De esta manera, alcanzó una producción mundial de 370 millones de toneladas en el 2019, que para una participación del 16 % del sector europeo, representa una industria de 55,000 compañías, 1.5 millones de empleos y más de 350 billones de euros, (Plastic_Europe, 2020). Sin embargo, los residuos plásticos generados a nivel mundial se estimaron en el 2010 de 275 millones de toneladas, (Jambeck et al., 2015). Un hecho relevante debido a que, los residuos plásticos se generan constantemente, presentan una longeva duración, son propensos a acumularse y ocasionan daños a la salud del hombre y el ambiente; lo que también los convierte en contaminantes.

Entonces, en lo que refiere a los contaminantes plástico, su origen es indiscutiblemente antropogénica y sus medios de transporte el agua, aire y actividades antropogénicas, (Lechthaler et al., 2020). No obstante, las causas de su acumulación son complejas. En el caso de las playas, estos procesos ocurren de diversas maneras; como son de forma natura por ciclos de acreción y erosión, fuerzas del viento, cuestiones geomorfológicas en la constitución de la playa, escorrentías, ríos adyacentes, corrientes del litoral y marinas; y como son de forma inducida, por actividades antropogénicas, gestión inadecuada de los residuos, falta de educación ambiental, turismo irresponsable, desinterés político y por zonas urbanas adyacentes, (Elías, 2015; Schwarz et al., 2019). De este modo, el identificar y entender estos procesos de forma local, regional e internacional son claves para la remediación de las afectaciones que causan los contaminantes plásticos, como son: afectaciones a la estética, intoxicación y mortandad de fauna y flora, degradación de los ecosistemas y daños en la salud del ser humano, (Coleman y Wehle, 1984; Macleod et al., 2021; Thompson et al., 2009). Sin embargo, la falta de recursos metodológicos, económicos, tecnológicos y de información, así como, la actualización de la información ya existente está presentando un reto igual de importante. De modo que, actualmente se están innovando y en su caso actualizando métodos de estudio que resuelvan los problemas de recursos metodológicos, económicos, tecnológicos y de información. Ejemplos de estos casos son estudios apoyados en métodos con tecnologías como: RPA'S, Robótica terrestre, satelital y

con la capacidad de identificar y trabajar con plásticos microscópicos. De este modo, avanzar en el estudio de los contaminantes y la contaminación plástica.

Delimitación del problema

Los problemas que presentan los contaminantes plásticos se encuentran y abordan en diferentes planos de acción. Por ello, se presentan a continuación de forma gráfica los problemas y los planos a los que corresponden, delimitando el problema de estudio que se aborda en este trabajo.

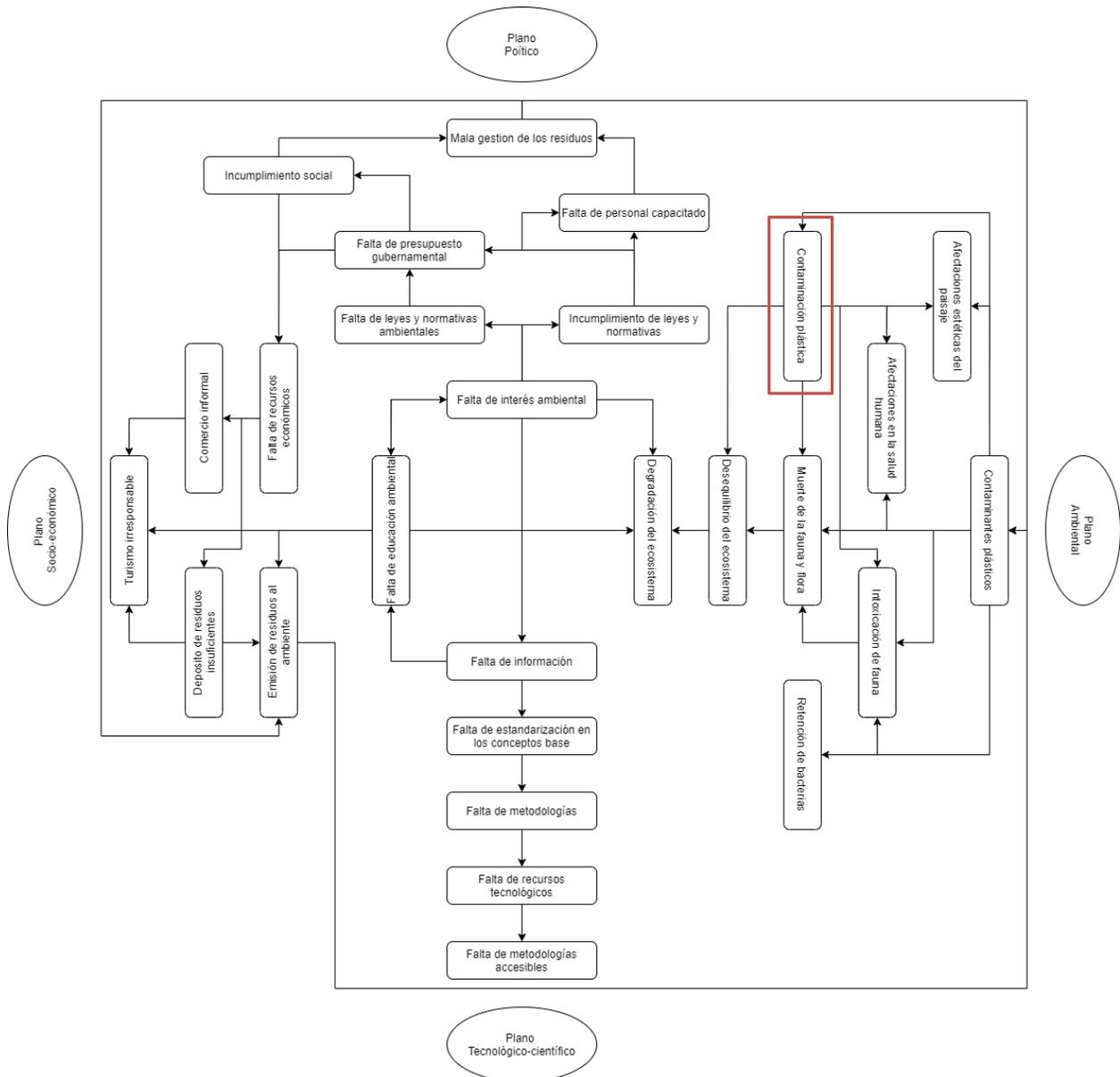


Figura 8. Problemáticas relacionadas a los contaminantes plásticos.

Planteamiento del problema

Con base en lo expuesto anteriormente en esta sección, ubicado en el plano ambiental, se planteará el problema de los contaminantes plásticos desde la perspectiva del Municipio de Boca del Río, Veracruz, México.

El municipio de Boca del Río se ubica en el estado de Veracruz en el país de México. Este país se conforma de 32 estados, de los cuales 16 de ellos en conjunto aportan 11,200 km de litoral; entre ellos el estado de Veracruz. Si bien esto representa beneficios en recursos naturales, económicos y de biodiversidad; también representa para México un área vulnerable a la recepción de contaminantes plásticos que proviene de los océanos con los que colinda; el Océano Pacífico en el hemisferio Oeste y el Océano Atlántico en el hemisferio Este. No obstante, cinco de los seis estados con litoral del hemisferio Este; Yucatán, Campeche, Tabasco, Tamaulipas y Veracruz forman parte del Golfo de México. Este Golfo de forma indirecta se encuentra protegido frente a las corrientes del Océano Atlántico por los países isla Cuba, Jamaica, Bahamas, Haití, República Dominicana y Puerto Rico; y por las penínsulas de Florida y Yucatán. Esta protección es relevante puesto que el transporte de los contaminantes plásticos en los océanos ocurre por medio de las corrientes marinas. De este modo, el hemisferio Este de México se encuentra protegido frente a la recepción de contaminantes plásticos provenientes del océano, que el hemisferio Oeste. Sin embargo, se mencionará, que la protección presente en el Golfo de México favorece la acreción de su litoral, por lo que los contaminantes plásticos que provengan del océano son propensos a acumularse en dicho litoral. Por el contrario, en el hemisferio Oeste, el Litoral Mexicano que conecta con el Océano Pacífico presenta características erosivas, por lo que los contaminantes plásticos son más propensos a ser enviados del litoral al Océano que del Océano al Litoral Mexicano. Pese a lo anterior, para el 2022 existe pocos estudios sobre contaminantes plásticos en el Litoral Mexicano que verifiquen estos hechos. No obstante, son comportamientos generales que ocurren con los contaminantes plásticos.

Con respecto al Municipio de Boca del Río en el estado de Veracruz, enfrenta las mismas carencias de información respecto a la recepción de contaminantes plásticos en las costas de su litoral. Aunado a ello, entre los Municipios de Veracruz, Boca del río y Antón Lizardo y el Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano (PNSAV); presenta una protección similar frente a la corriente del Golfo como la, del Golfo de México frente a las corrientes del Océano Atlántico. No obstante, respecto a los contaminantes plástico en la parte terrestre de México. En (SEMARNAT, 2020) se estimó en 2017 la generación de 5.7 millones de toneladas de residuos plásticos, de los cuales, 378,306 toneladas son producidas por el estado de Veracruz, y 29,013 toneladas por los Municipios de Veracruz y Boca del Río. A demás, (SEMARNAT, 2020) estima que, de las 29,013 toneladas de residuos plásticos producidas, 22, 659.2 toneladas son captadas y 6,353.8 toneladas se dispersan en sus alrededores. Por lo tanto, entre el Municipio de Veracruz y Boca del Río se estima que se generan 6,353.8 toneladas anuales de contaminantes plásticos en la zona urbana y sus alrededores, de los cuales se carece de información en estos Municipios.

Los problemas de información sobre los contaminantes plásticos en el Municipio de Boca del Río son cuestiones para tomar en cuenta, puesto que, el Municipio colinda con dos áreas naturales protegidas de alto valor a nivel nacional que pueden verse comprometidos por dichos contaminantes, el Parque Nacional Arroyo Moreno (PNAM) y el Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano (PNSAV). Aunado a ello, el Municipio presenta playas de alto valor turístico nacional (Gallegos, 2008); que al mismo tiempo, se encuentran vulneradas (Ortiz-Lozano et al., 2015). Mas aún, sus playas presenta indicadores de acumulación de contaminantes plásticos entre los cuales son: temporada de lluvias y turística definida, zonas urbanas y ríos adyacentes, fallas en el manejo de los residuos (Ortiz-Lozano et al., 2005; SEMARNAT, 2020) y morfología modificada por escolleras del tipo bahía. Con ello, la falta de información impide conocer la procedencia y presencia de una acumulación de contaminantes plásticos en sus costas. Aunado a la presencia de una contaminación plástica que supone para las playas y el Municipio de Boca del Río afectaciones en la fauna local, salud humana, económica y estética.

Pregunta de investigación

Ante la problemática planteada en el Municipio de Boca del Río se presenta la siguiente pregunta de investigación:

¿Cuál es el grado de contaminación plástica en las playas de Santa Ana y Mocambo del Municipio de Boca del Río, México, empleando Inteligencia Artificial?

Hipótesis

Con base en la pregunta de investigación y la teoría, se planteó la siguiente hipótesis:

El grado de contaminación plástica, se evalúa empleando Inteligencia Artificial, mediante el modelo Perceptrón, teniendo en cuenta las características de los contaminantes plásticos en las playas de Santa Ana y Mocambo del Municipio de Boca del Río, México.

Justificación

Las playas del municipio de Boca del Río representan un valor económico por sus servicios ambientales (turístico, estético y de recreación para la población), las cuales son afectadas por la contaminación plástica. Conocer el grado de contaminación en las playas del municipio, advierte de la emisión y recepción de plástico procedente de los ambientes terrestre y marino, factor importante debido a la presencia de las áreas protegidas adyacentes Reserva Natural Arroyo Moreno y Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano. Aunado a ello, no se han realizado trabajos que evalúen el grado de contaminación plástica con inteligencia artificial en la región; por ello, este trabajo aportará una metodología que podrá ser utilizada en el monitoreo de playas y en la toma de decisiones para la gestión de los residuos plásticos y el mantenimiento de playas.

OBJETIVOS

General

Evaluar mediante la inteligencia artificial el grado de contaminación plástica en las playas Santa Ana y Mocambo del Municipio de Boca del Río, Veracruz.

Particulares

Registrar mediante fotogrametría las playas Santa Ana y Mocambo del Municipio de Boca del Río para su análisis a través de Inteligencia Artificial

Entrenar a la Inteligencia Artificial para estimar el grado de contaminación plástica en playas

Comparar la acumulación por materiales plásticos en las playas Santa Ana y Mocambo, considerando una playa control Farallón que valide a la inteligencia artificial.

Estimar con la Inteligencia Artificial el grado de contaminación plástica en las playas Santa Ana y Mocambo del Municipio de Boca del Río.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El estudio se llevó a cabo en Playa Santa Ana $19^{\circ}06'29.1''\text{N}$ $96^{\circ}06'02.0''\text{W}$ y Playa Mocambo $19^{\circ}08'08.6''\text{N}$ $96^{\circ}06'05.4''\text{W}$. Estas, se encuentra ubicadas en el Municipio de Boca del Río, Veracruz, México a 12 km del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano. De igual manera, son playas arenosas, vulneradas (Ortiz-Lozano et al., 2015; Ortiz-Lozano et al., 2005), modificadas (Bernal-Ramírez, R., y Granados-Barba, A., 2008), morfológicamente de tipo bahía, de impacto turístico para el municipio (Gallegos, 2008), con aportaciones de nutrientes y contaminantes del Río Jamapa (Pérez Lugo, 2019) y circulación estacionaria de la corriente marina superficial influenciada principalmente por los vientos de temporada, los cuales, también intervienen en la dirección del oleaje (Salas-Pérez y Granados-Barba, 2008).

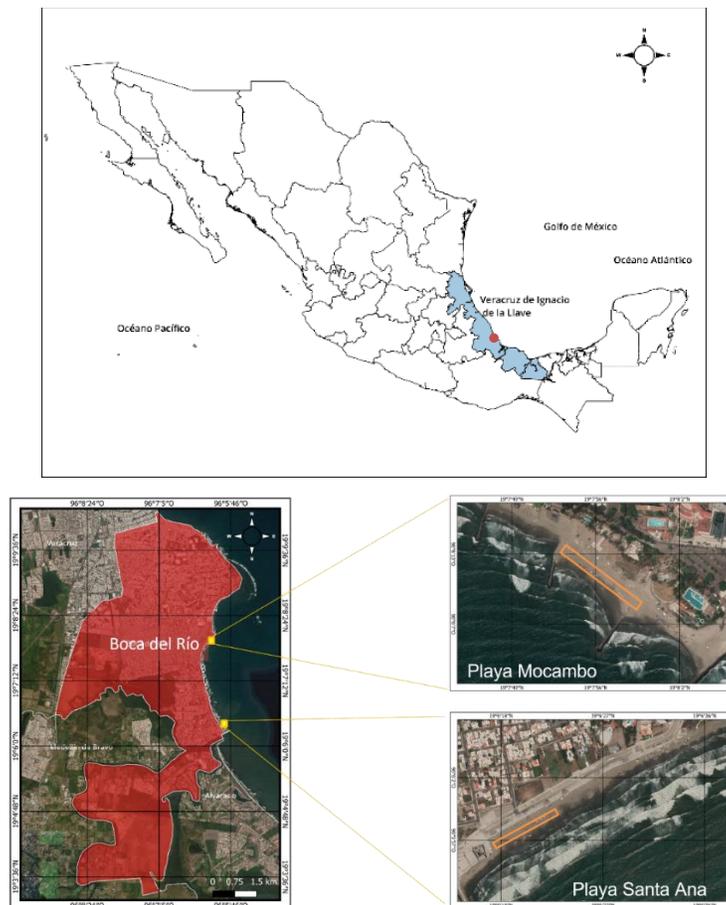


Figura 9. Ubicación geográfica del área de estudio Santa Ana y Mocambo

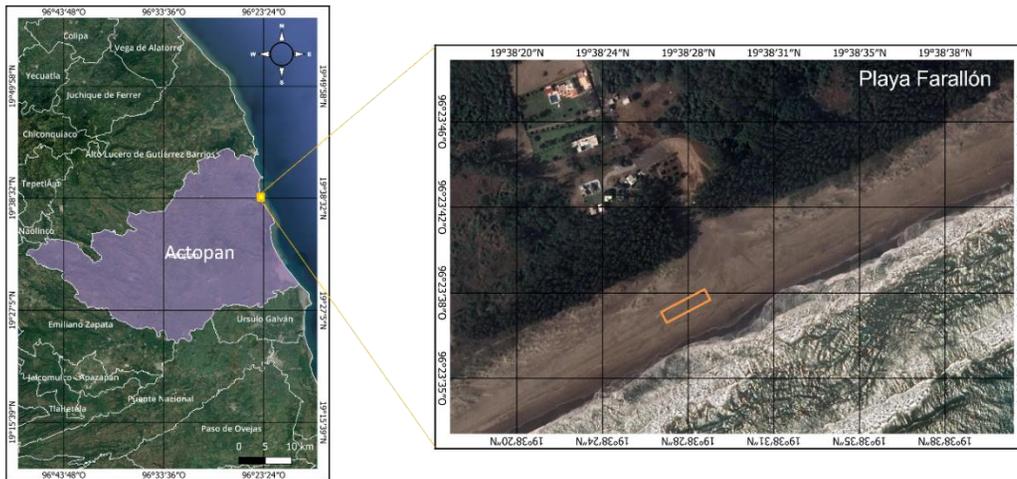
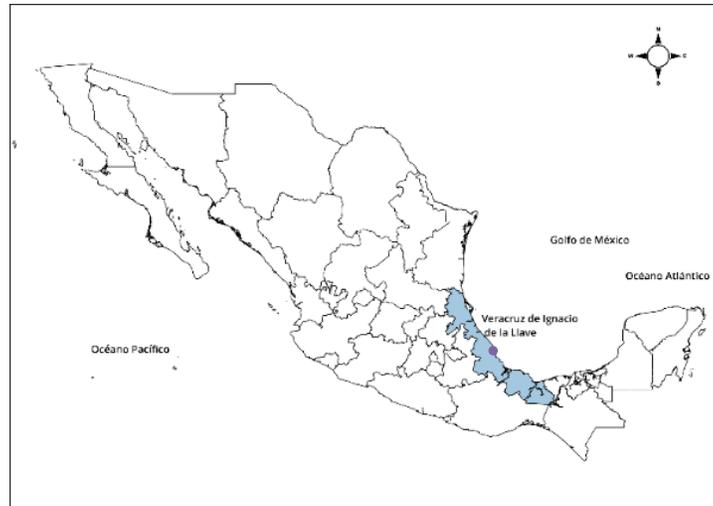


Figura 10. Ubicación geográfica de la playa control Farallón. Nota: es una playa ubicada en el Municipio de Actopan en el estado de Veracruz utilizada como unidad de una playa limpia.

Diseño del experimento

El experimento se realizó mediante un modelo de diseño completamente al azar (DCA). Este modelo, considerar únicamente dos fuentes de variabilidad: los tratamientos y el error aleatorio. Esto nos permite, por la aleatoriedad, minimizar el error o ruido provocado por las variables o factores no estudiados, y comparar dos o más tratamientos de un factor de influencia. En este caso, se consideró la acumulación del plástico sobre las playas (factor o variable de estudio) como el factor de mayor influencia sobre la contaminación plástica en playas (variable respuesta) y se compara en tres tratamientos: playa Santa Ana, Mocambo y Farallón (control).

De esta manera, se recolectan muestras en el área de estudio siguiendo las técnicas de muestreo probabilístico, aleatorio simple y posteriormente mediante la significancia estadística, se puede discernir una acumulación de plástico diferenciada en estas playas.

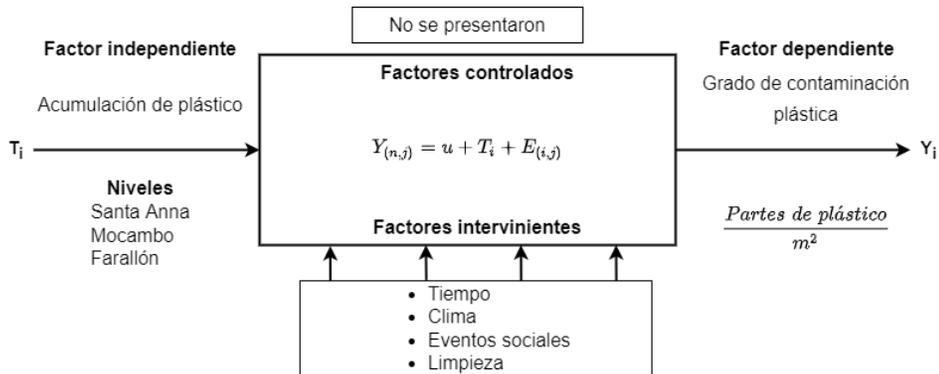


Figura 11. Gráfica del diseño experimental considerado en la investigación

Tabla 3

Tratamientos contemplados en el experimental

Tratamientos	Playas	Observaciones			Media Global
1	Santa Ana	Y1, 1	Y1, 2	Y1, j	Yk, j
2	Mocambo	Y2, 1	Y2, 2	Y2, j	Yl, j
3	Farallón	Y3, 1	Y3, 2	Yn,j	Yh, j

$$Y_{(n,j)} = u + T_i + E_{ij}$$

u = Media global

T_i = Parámetro del tratamiento o tratamiento observado

E_{ij} = Error estimado al tratamiento $Y_{(n,j)}$

Herramienta de muestreo

Sistema de Aeronave Pilotada Remotamente (RPAS) o Dron

Para el registro en las playas se utilizó un RPAS multirrotor de cuatro hélices DJI Mavik mini 2 que en total mide 245 mm de largo, 289 mm de ancho, 56 mm de alto y 213 mm en la diagonal, pesa menos de 249 g y en su configuración más rápida alcanza un ascenso de 5 m/s y un descenso de 3.5 m/s, alcanzando una máxima altura de 4000 m, el tiempo de vuelo por pila independiente dura un máximo de 31 min. (aunque el tiempo real de uso considerando la resistencia al viento, no supera los 24 min), resistencia al viento de 8.5 – 10.5 m/s, sistema de posicionamiento global GNSS, sensor visual (cámara) 1/2.3" CMOS con 12 Mega Pixeles (MP) efectivos con un gimbal de 3 ejes, tamaño de imagen variable de 4:3 de 4000x3000 y 16:9 de 4000x2250 pixeles con opción de formato JPEG o JPEG+DNG (RAW) y una resolución de video 4k de 3840 x 2160 a 24/25/30 fps con un formato de video MP4 (H.24/MPEG-4 AVC), sistema de transmisión de video OcuSync 2.0, rango máximo de 10 o 6 km dependiendo del entorno y una latencia de retransmisión aproximada de 200 ms como máximo, y necesita ser operado a través de la aplicación DJI Fly disponible en su página oficial (DJI, 2021).

Hardware

Computadora de escritorio con las siguientes características:

- Sistema operativo Windows de 64 bits.
- 16 GB de RAM.
- 5 TB de almacenamiento.
- Tarjeta Wifi.
- Tarjeta gráfica GEFORCE GTX 1660 Super de 6 GB.
- Procesador: AMD Ryzen 5 serie 3600.
- 5 teraflops de cómputo.

Plataforma de entrenamiento de Redes Neuronales

- Entrenamiento local de la red utilizando Jupyter y Anaconda.

Software de ensamble

Se utilizó un software de ensamble propio utilizando:

- Bibliotecas de OpenCV, Python, Numpy y Matplotlib
- Un entorno de trabajo Jupyter

Toma de muestra

Se seleccionaron playas de Boca del Río que representaran indicios de acumulación de materiales plásticos en sus playas, Tabla 4. Posteriormente, a una altura de $6 \text{ m} \pm 0.2 \text{ m}$ se recolectaron fotogramas en resolución 4k de 2160×3840 píxeles con el RPA, que en total representan un área de 17.5 m de ancho y 200 m de largo. Además, esta altura permite observar con el RPA, objetos de la superficie claramente de $12 \pm 3 \text{ cm}$ en adelante. No obstante, el tamaño más chico que puede observarse con claridad es de 3 cm . Luego, el conjunto de imágenes recolectado es procesado y representado en un mosaico de imágenes a cuadrantes de $1 \times 1 \text{ m} \pm 0.2 \text{ m}$ de las playas. Finalmente, de forma aleatoria se seleccionan tres regiones equivalentes a 6 m de ancho x 17 m de largo con 2 repeticiones respectivas de la zona en cada una y se realiza la contabilización de los plásticos en el área.

Tabla 4

Indicadores que favorecen la acumulación de contaminantes plásticos

Indicadores
Playas con morfología de bahía (sea de una playa modificada por escolleras o natural)
Influencia antropogénica continua
Presencia de ríos adyacentes
Zonas urbanas adyacentes
Temporadas climáticas pronunciadas como lluvia o fuertes vientos
Eventos temporales de acumulación plástica (turismo, tormentas, eventos públicos, etc.)
Playas de acreción
Deficiencias en el manejo de residuos (contenedores, programas, recolectores, etc.)
Afectaciones en la fauna
Afectación en la salud humana

Selección de playas con probabilidad de acumulación:

- Playa Santa Ana:
 - 874 m aproximadamente de largo en paralelo al mar.
 - Se conforma por tres trayectos distinguibles, el primer trayecto de 20 x 114 m aprox., un segundo de 54 x 420 m aprox. y el tercero de 33 x 340 m aprox.; calculado desde el Foro Boca hasta 155 metros adelante de la curva o entrada del boulevard del lado de la playa.
 - Transito constante de personas.
 - Modificación morfológica de escolleras; playa de acreción.
 - Presencia de ríos adyacentes; Río Jamapa.
 - Presencia de zonas urbanas adyacentes; Municipio de Boca del Río.
 - Tipo de playa de Bahía.

- Mocambo.
 - 650 m aprox. de largo en paralelo al mar.
 - 55 m aprox. de ancho del inicio de la zona de dunas y vegetación hasta el nivel medio del mar.
 - Transito constante de personas.
 - Modificación morfológica de escolleras; un total de 4 escolleras.
 - Sin presencia de ríos adyacentes.
 - Presencia de zonas urbanas adyacentes; Municipio de Boca del Río.
 - Tipo de playa de Bahía.

Métodos empleados

Descripción general

Para el estudio de la contaminación plástica mediante inteligencia artificial, se consideró un diseño de experimentos bajo el modelo DCA. En donde las variables medidas, fueron la contaminación plástica como variable respuesta y la acumulación del plástico en playas como factor de mayor influencia. Considerando las NOM Mexicanas y la zona de estudio, se utilizó un RPAS Cuadricóptero < 249g con cámara, para registrar de forma digital (mediante imágenes) un total de 7,000 metros cuadrados de playa entre Playa Santa Ana y Mocambo cada mes y 3,500 metros cuadrados en Playa Farallón cada temporada. Realizado el registro, se generó un mosaico de imágenes para representar digitalmente el área observada.

Esta área, se segmentó en cuadrantes 1 x 1 m y fueron analizados por una red neuronal convolucional YOLOv4 reentrenada para detectar materiales plásticos. Aunado a ello, se contabilizó el material plástico y se aplicó el Índice de Costas Limpias (Alkalay et al., 2007). En paralelo, retomando el área observada ya segmentada en cuadrantes 1 x 1 m, se aplicó la técnica de muestreo descrita y se compararon ambas playas, Santa Ana y Mocambo, apoyándonos en una playa control, Farallón. Finalmente, con los resultados del índice y la comparación entre playas, se establece una conclusión sobre el estado de contaminación de las playas.

Etapas de la investigación

1. Registro digital de las playas de Boca del Río mediante el uso de sistemas aéreos pilotados a distancia (RPAS)
2. Ensamble del mosaico de imágenes a partir del registro digital de las playas de Boca del Río.
3. Delimitación de cuadrantes para el análisis mediante Inteligencia Artificial
4. Selección de una Inteligencia Artificial orientada a la detección de objetos.
5. Creación de una base de datos para el entrenamiento de la Inteligencia Artificial.
6. Reentrenar la Inteligencia Artificial para la detección de materiales plásticos.
7. Complementar el modelo de la Inteligencia Artificial con la aplicación del Índice de Costas Limpias (Alkalay et al. 2007).
8. Comparar mediante una prueba estadística la acumulación de plásticos en las playas de estudio.
9. Determinar el grado de contaminación por materiales plásticos en playas

1. Registro digital de las playas de Boca del Río mediante el uso de los sistemas aéreos pilotados a distancia (RPAS)

En primer lugar, se determinó el *Ground Sample Distance* (GSD). Para ello, se identificó la categoría de los plásticos con los que se trabaja. Luego, se consideró las características del RPA y la altura de las estructuras que pueden colisionar con el RPA en el área de estudio, y se determinó la altura mínima a la que era posible volar. Entonces, se calculó el GSD utilizando la fórmula siguiente:

$$\text{Ground Sample Distance (GSD)} = \frac{SW * H}{f * PxW} = X \text{ mm/px}$$

En segundo lugar, se determinó la velocidad de vuelo del RPA para la captura de información a través de la grabación y recolección de fotogramas de las playas. Entonces, comenzó por realizarse vuelos estacionarios en una zona protegida del viento para determinar el tiempo real de vuelo máximo. Conociendo el tiempo real de vuelo y las baterías disponibles del RPA, se restringió el 25 % de la batería para el retorno seguro del RPA y se probaron diferentes velocidades de vuelo en donde se seleccionaron candidatos para la velocidad del trabajo. Posteriormente, utilizando estas velocidades se simuló la grabación y recolección de fotogramas, y se determinó la velocidad a la que el RPA debía desplazarse para adquirir fotogramas de calidad.

En tercer lugar, se determinó el área real posible de captura de información en las playas. Por ello, comenzó por conocerse el tamaño aproximado de las playas descrito en el área de estudio. Luego, se estimó el número de transectos posibles en distintas distancias considerando la velocidad de vuelo. Con lo anterior y las restricciones de la NORMA Oficial Mexicana NOM-107-SCT3-2019, que establece los requerimientos para operar un sistema de aeronave pilotada a distancia (RPAS) en el espacio aéreo mexicano y la velocidad de vuelo, se seleccionó el área posible de representar para el trabajo.

En cuarto lugar, se determinó la distancia necesaria para la construcción de un mosaico de imágenes. Para ello se tomó como referencia el número de baterías y los procedimientos de fotogrametría para estimando el traslape horizontal y vertical para la construcción del mosaico de imágenes. No obstante, de contar con información suficiente, se realizaría un orto mosaico considerando un traslape del 45% horizontal y 80% vertical.

En quinto lugar y último, considerando el desempeño real del RPA en las playas de Boca del Río, se estableció el back shore como región explicativa del área de estudio. Entonces, se seleccionó un punto de inicio aleatorio comprendida en esta área. Luego, a partir de este se generaron los transectos y se voló el RPA para la captura de información por medio de video.

2. Ensamble del mosaico de imágenes a partir del registro digital de las playas de Boca del Río

En primer lugar, se calculó el intervalo en el que se deben recolectar los fotogramas del registro digital por medio de video previamente hecho. Para ello, se consideró la velocidad de vuelo promedio, la distancia del transecto y el área real observada por el RPA en una imagen.

$$1 s = 30 \text{ frames}; 1 s = 1 m; 30 \text{ frames} = 1 m.$$

En segundo lugar, se extrajo los fotogramas del registro digital de video. Para ello, se desarrolló un software que utiliza la biblioteca de procesamiento de imágenes y el intervalo de recolección previamente establecido para seleccionar los fotogramas y extraerlos del registro digital de video.

En tercer lugar y último, se ensambló el mosaico de imágenes. Para ello, se desarrolló un software utilizando las bibliotecas de procesamiento de imágenes OpenCV y de operaciones matemáticas Numpy con el que se unió los fotogramas recolectados en una sola imagen.

3. Delimitación de cuadrantes para el análisis mediante inteligencia artificial

Para ello, se desarrolló un software utilizando la biblioteca de procesamiento de imágenes OpenCV y de operaciones matemáticas Numpy. En este software se utiliza la relación del GSD y el mosaico de imágenes para delimitar cuadrantes de trabajo 1 x 1 metro. Estos cuadrantes, son copiados del mosaico y trabajados de forma independiente. Posteriormente, se estandariza el total de cuadrantes en cada playa y son redimensionados en cuadrantes de 576 x 576 píxeles para su análisis mediante Inteligencia Artificial.

4. Selección de una Inteligencia Artificial orientada a la detección de objetos

Para ello, se considerando la versatilidad que está tiene para ser implementada en múltiples plataformas, la opción que puede ofrecer para ser entrenada con equipo y recursos propios o mediante computo en la nube y su precisión, Tabla 5.

Tabla 5

Factores tomados en cuenta para la selección de una Inteligencia Artificial

Factores de selección
Tipo de entrenamiento
Desempeño en multi clase
Precisión
Facilidad de implementación en múltiples plataformas
Facilidad para aplicar reentrenamiento

5. Creación de una base de datos para el entrenamiento de la Inteligencia Artificial

Para ello, se determinó los problemas de *underfitting* y *overfitting* estimando el número de datos recomendadas para llevar a cabo el entrenamiento. Posteriormente, se buscó bases de datos previamente creadas enfocadas al tema del trabajo. Por último, se estimó si el total de datos recolectados concordaba con los datos recomendados; en caso de falta de datos, estos se complementarían con técnicas de data augmentation proporcionados por la plataforma Google Colab (Google, 2022).

6. Reentrenar a la Inteligencia Artificial para la detección de materiales plásticos

En primer lugar, se aplicaron métodos de transferencia de aprendizaje. Para ello, se utilizó la base de datos creada previamente en este trabajo, la versión de red neuronal seleccionada y los recursos de hardware disponibles. Posteriormente, considerando los tiempos de entrenamiento, se entrenan diferentes versiones y se selecciona la que muestre un mejor desempeño.

7. Complementar el modelo de la Inteligencia Artificial con la aplicación del Índice de Costas Limpias (Alkalay et al., 2007)

Para ello, se desarrolló un software que utiliza las detecciones de la Inteligencia Artificial, el área de todos los cuadrantes y aplica el Índice de Costas Limpias.

Índice de Costas limpias:

$$\frac{\text{No de plásticos} > a \ 3 \text{ cm}}{m^2} * k$$

Posteriormente, se obtiene un archivo con las detecciones de los plásticos de las regiones seleccionadas en la toma de muestra y se obtiene los plásticos acumulados y la posición del cuadrante; el resultado se almacena en un archivo de texto (.txt).

8. Comparar mediante una prueba estadística la acumulación de plásticos en las playas de estudio

Para ello, se utilizó el análisis de una playa control; Playa Farallón. Esta playa, es una playa no modificada (con alteraciones por influencias antropogénicas mínimas), es decir, limpia. Entonces, se colectó las muestras de acuerdo con la técnica de muestreo y se procesaron los resultados para la prueba estadística. Con la prueba estadística se busca plantear lo siguiente:

- La hipótesis nula establece que la acumulación plástica en las tres playas es la misma.
- La hipótesis alterna establece que la acumulación plástica en por lo menos una de las playas es diferente.

Posteriormente, se almacenan los resultados procesados del análisis de playas y el de la prueba estadística.

9. Determinar el grado de contaminación por materiales plásticos en playas

Para ello, se cargaron los datos previos del análisis de playas. Luego, con los datos de se establece un mapa de contaminantes plásticos en las playas por temporada y año. Al mismo tiempo, de los datos se obtiene la acumulación total por mes, temporada y año. Luego, se aplica el índice de Alkalay et al. (2007) del software previamente desarrollado sobre la acumulación total considerando el área observada en la playa. Con la evidencia, se concluye la situación general de la playa y el grado de contaminación. Finalmente, los resultados son almacenados en un archivo de texto (.txt).

RESULTADOS Y DICUSION

1. Registro digital de las playas de Boca del Río

El Ground Sample Distance (GSD) aplicado en las playas se estimó en:

$$\text{Ground Sample Distance (GSD) Ancho} = \frac{6.3 \text{ mm} * 6000 \text{ mm}}{4.36 \text{ mm} * 3840 \text{ px}} = 2.26 \text{ mm/px}$$

$$\text{Ground Sample Distance (GSD) Alto} = \frac{4.7 \text{ mm} * 6000 \text{ mm}}{4.36 \text{ mm} * 2160 \text{ px}} = 2.99 \text{ mm/px}$$

También, el tamaño de plásticos estudiados fueron los macro plásticos. Estos comprenden tamaños entre 2.5 cm y 100 cm. Por otro lado, el tiempo de vuelo estimado de la aeronave pilotada a distancia ó *remotely piloted aircraft* (RPA) fue el siguiente:

Tabla 6

Prueba de duración de batería con el RPA

Tiempo de vuelo	Resultados (min.)
Teórico	31
Prueba 1	25
Prueba 2	22
Prueba 3	23
Promedio	23.33

Con ello, se estableció que el tiempo de vuelo estimado del RPA conservando un 25 % de energía era de aproximadamente 17.5 minutos de vuelo. Aunado a ello, con base al tiempo de vuelo, las distancias estimadas fue la siguiente:

Tabla 7

Distancia máxima de vuelo estimada en metros

Velocidad (m/s)	Distancia recorrida en 1 min.	Por 48atería (17.5 min.)
2	120	2100
1.8	108	1890
1.6	96	1680
1.4	84	1470
1.2	72	1260
1	60	1050
0.8	48	840
0.6	36	630

No obstante, el consumo energético depende de las condiciones del ambiente, por lo que se estimó entre uno y dos min de pérdida entre la velocidad estándar 1 m/s y la más alta de 2 m/s; la falta de energía se compenso con la energía de reserva para el retorno. Por otro lado, con las velocidades de vuelo se evaluó la calidad del fotograma y se seleccionaron aquellas con mayor nitidez, Figura 11.



Figura 12. *Serie de fotogramas clasificados de izquierda a derecha como calidad: baja, media, buena e ideal*

Así, las velocidades seleccionadas fueron el intervalo 1.4 a 0.6 m/s. Luego, con este intervalo, se obtuvo el número de vuelos que pueden realizarse, Tabla 8.

Tabla 8*Total de vuelos estimados*

Velocidad (m/s)	Total de vuelos en intervalos de 457 m	Total de vuelos en intervalos de 100 m	Total de vuelos en intervalos de 150 m
1.4	1.63	7.46	4.97
1.2	1.91	8.72	5.81
1	2.30	10.50	7.00
0.8	2.87	13.13	8.75
0.6	3.84	17.54	11.69

Con la tabla de vuelos como referencia, se estimó que la velocidad aproximada para llevar a cabo la formación de un mosaico de imágenes, considerando el tiempo y los factores ambientales fue la velocidad de 1 m/s. De este modo, en total se registraron 5,425 m² en la Playa Santa Ana, 3,762 m² en Playa Mocambo y 5,600 m² en Playa Farallón (playa control de la prueba estadística). Las Playas Santa Ana y Mocambo se registraron de forma mensual en tres intervalos: De Junio – Agosto 2021, Octubre – Noviembre 2021 y Marzo – Mayo 2022. La Playa Farallón se registró por temporada de Lluvias en Junio 2021, Frentes fríos los cuales se registraron que iniciaron a finales de Septiembre 2021 y Estiaje en Mayo 2022. En cada muestreo se obtuvo de las playas un total de tres videos en formato 4k con una relación de 16:9 y resolución de 12 mega pixeles (MP) en 3840 de ancho y 2180 de alto pixeles a una altura 5.5 ± 0.5 metros. Con ello, además se registró el tiempo de vuelo, consumo de baterías reales, espacio en memoria y viento. A continuación, se presenta una tabla con los registros mencionados anteriormente.

Tabla 9*Tabla de vuelos realizados en el experimento*

Mes	Playa	Fecha	Videos 4K	Viento promedio (km/h)	Observaciones
	Farallón	13-06-2021	DJI_0005 DJI_0007 DJI_0011	8	Tiempo de vuelo: 9:37 am a 10:06 am. Baterías usadas: 2. Espacio en memoria: 11.1 GB.
Junio	Santa Ana	20-06-2021	DJI_0050 DJI_0054 DJI_0058	6	Tiempo de vuelo: 7:02 am a 7:24 am. Baterías usadas: 2. Espacio en memoria: 11.4 GB.
	Mocambo	27-06-2021	DJI_0062 DJI_0065 DJI_0067	7	Tiempo de vuelo: 7:05 am a 7:25 am. Baterías usadas: 2. Espacio en memoria: 9.9 GB.
Julio	Santa Ana	03-07-2021	DJI_0072 DJI_0075 DJI_0078	6	Tiempo de vuelo: 6:45 am a 7:11 am. Baterías usadas: 2. Espacio en memoria: 10.8 GB.

	Mocambo	04-07-2021	DJI_0085 DJI_0088 DJI_0091	6	Tiempo de vuelo: 6:59 am a 7:25 am. Baterías usadas: 2. Espacio en memoria: 10.9 GB.
Agosto	Santa Ana	15-08-2021	DJI_0118 DJI_0124 DJI_0129	6	Tiempo de vuelo: 7:01 am a 7:23 am. Baterías usadas: 2. Espacio en memoria: 10.1 GB.
	Mocambo	29-08-2021	DJI_0153 DJI_0156 DJI_0160	7	Tiempo de vuelo: 7:16 am a 7:38 am. Baterías usadas: 2. Espacio en memoria: 8.4 GB.
Septiembre	Farallón	25-09-2021	DJI_0163 DJI_0171 DJI_0175	8	Tiempo de vuelo: 8:58 am a 9:29 am. Baterías usadas: 2. Espacio en memoria: 10.1 GB.
Octubre	Santa Ana	02-10-2021	DJI_0179 DJI_0186 DJI_0190	7	Tiempo de vuelo: 7:10 am a 7:31 am. Baterías usadas: 2. Espacio de memoria: 10.4 GB.

	Mocambo	03-10-2021	DJI_0198 DJI_0204 DJI_0214	6	Tiempo de vuelo: 7:15 am a 7:32 am. Baterías usadas: 2. Espacio de memoria: 7.4 GB.
	Mocambo	12-11-2021	DJI_0360 DJI_0363 DJI_0366	7	Tiempo de vuelo: Baterías usadas: 2. Espacio en memoria: 10.3 GB.
Noviembre	Santa Ana	17-11-2021	DJI_0375 DJI_0381 DJI_0386	7	Tiempo de vuelo: 7:04 am a 7:22 am. Baterías usadas: 2. Espacio en memoria: 10.4 GB.
	Mocambo	06-03-2022	DJI_0885 DJI_0888 DJI_0891	6	Tiempo de vuelo: 7:10 am a 7:23 am. Baterías usadas: 2. Espacio en memoria: 6.4 GB.
Marzo	Santa Ana	28-03-2022	DJI_0375-F DJI_0376 DJI_0381	6	Tiempo de vuelo: 6:53 am a 7:34 am. Baterías usadas: 3. Espacio en memoria: 7.1 GB
Mayo	Farallón	15-05-2022	DJI_0747 DJI_0752 DJI_0759	8	Tiempo de vuelo: 9:28 am a 9:50 am. Baterías usadas: 3.

				Espacio en memoria: 10.5 GB
Mocambo	16-05-2022	DJI_0769 DJI_0775 DJI_0781	6	Tiempo de vuelo: 7:26 am a 7:45 am. Baterías usadas: 2 Espacio en memoria: 7.65 GB
Santa Ana	19-05-2022	DJI_0785 DJI_0796 DJI_0804	6	Tiempo de vuelo: 7:44 am a 8:23 am. Baterías usadas: 3 Espacio en memoria: 10.4 GB.

2. Ensamble del registro digital de las playas de Boca del Río

El intervalo en el que se deberían recolectar los fotogramas es el siguiente:

$$1 s = 30 \text{ frames}; 1 s = 1 m; 30 \text{ frames} = 1 m;$$

$$\text{Entonces: } 6.5 m \text{ aprox.} * 30 \text{ frames} = 195 \text{ frames}$$

De este modo, se obtuvo de cada video una secuencia de 50 fotogramas útiles en Santa Ana y Farallón, y 34 fotogramas en Mocambo. Luego, mediante el software desarrollado se ensamblaron los fotogramas, Figura 12. En la figura anterior, se presenta un solape vertical del 10 % y un solape horizontal del 45 % aproximadamente. Sin embargo, por cuestiones de hardware y métodos posteriores, se conservó en tres sub mosaicos por cada muestreo de playa; representando en promedio 325 metros de longitud y 17.5 metros de anchura en Playa Santa Ana y Farallón, y 221 metros de longitud y 17.5 metros de anchura en Mocambo, Figura 13.

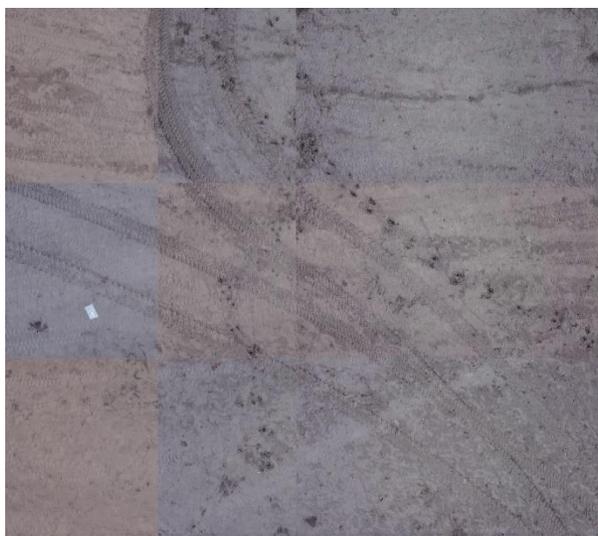


Figura 13. *Mosaico de imágenes de un segmento de playa Santa Ana*



Figura 14. *Segmento de un sub mosaico de imágenes de playas Mocambo con diferentes plásticos observables*

3. Delimitación de cuadrantes

Representando al mosaico de imágenes, se obtuvo en promedio de cada sub mosaico de imágenes de una playa 2547 cuadrantes digitales de $1 \text{ m}^2 \pm 0.2 \text{ m}^2$ de error. Cada uno de estos cuadrantes fue segmentado en función de un GSD calculado de forma horizontal de 2.3 milímetros/píxel y uno vertical de 3 milímetros/píxel. Luego, se redimensionaron a 576 píxeles de alto y ancho por facilidad para la Inteligencia Artificial, Figura 14. Finalmente, se estandarizó el área de observación en todas las playas a lo comprendido en 17.5 m de alto y 200 m de ancho.

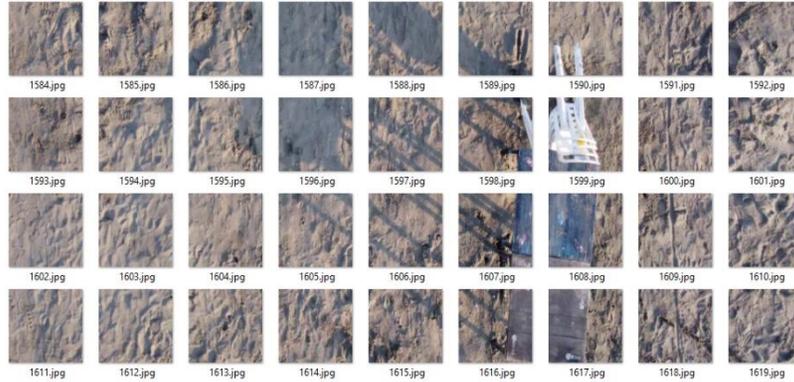


Figura 15. Segmento de un mosaico de imágenes dividido en cuadrantes estandarizados de 1x1 metro aproximado

4. Selección de una Inteligencia Artificial orientada a la detección de objetos.

Se selecciono una Red Neuronal Artificial Convolutiva nombrada “YOLOv4” por su autor (Bochkovskiy et al. 2020). Esta red es versátil para su implementación en múltiples plataformas como lo es en Aplicaciones Móviles, Computación, Computación en la nube y Hardware de bajo recursos. En el mismo sentido, presenta facilidades para llevar a cabo su entrenamiento mediante computación en la nube y con hardware propio. Por otro lado, presenta un desempeño aceptable en la detección de objetos y detección de objetos en tiempo real, Figura 15.

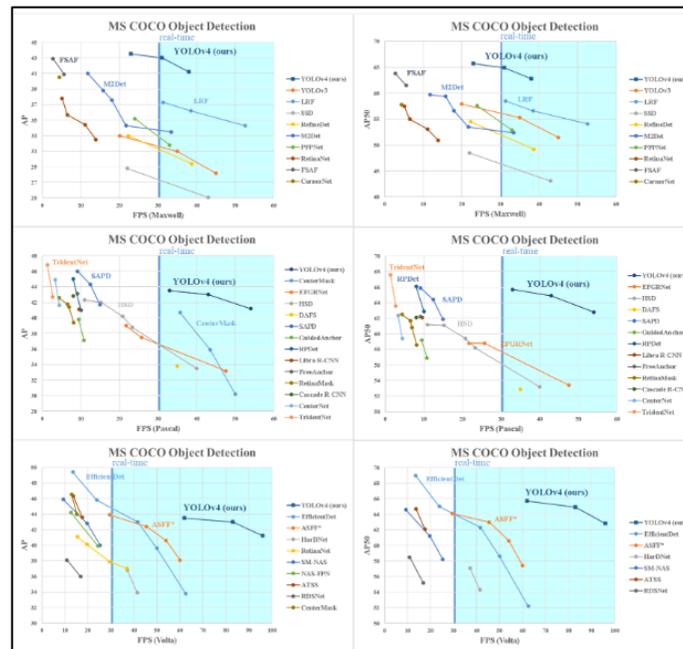


Figura 16 Gráfico de desempeño de la red convolutiva Yolov4. Nota: gráficas recuperadas de Bochkovskiy et al. (2020).

5. Creación de una base de datos para el entrenamiento de la Inteligencia Artificial.

De acuerdo con las recomendaciones de la red Yolov4, se necesita mínimo 500 imágenes por cada clase que se desee entrenar. De este modo, se obtuvo como resultado un total de 5040 imágenes divididas en 7 clases de objetos plásticos: Tapas, Botellas, Fragmentos, Bolsas, Cubiertos, Recipientes y Popotes. Estas clases se segmentaron en función de la variedad de plástico presentada en las playas, siendo los fragmentos de plástico, la clase comodín para todo aquello objeto que no se encontraran en alguna otra clasificación. Además, se obtuvo un archivo de texto (.txt) con las referencias de cada uno de los objetos de las imágenes, un total de 5,040 archivos de registro en formato “.txt”. Cada clase comprende 720 imágenes en total y un promedio de 200 imágenes de *data augmentation* enfocadas en orientaciones y rotaciones. Aunado a ello, las imágenes presentan diferentes escenarios y una resolución de 576 x 576 píxeles.



Figura 17. Base de datos representando los casos de detección y plásticos con los que se reentrenó la red convolucional Yolov4.



Figura 18. Archivo de texto con las clases utilizadas por la red convolucional Yolov4 reentrenada.

6. Reentrenar a la Inteligencia Artificial para la detección de materiales plásticos.

Se obtuvo como resultado una inteligencia artificial reentrenada con una precisión de detección de plásticos del 81 %, Figura 7 y Tabla 10.

```

class_id = 0, name = plastico, ap = 77.04% (TP = 1407, FP = 329)

for conf_thresh = 0.25, precision = 0.81, recall = 0.72, F1-score = 0.76
for conf_thresh = 0.25, TP = 1407, FP = 329, FN = 560, average IoU = 68.11 %

IoU threshold = 50 %, used Area-Under-Curve for each unique Recall
mean average precision (mAP@0.50) = 0.770421, or 77.04 %

```

Figura 19. Archivo de texto con las clases utilizadas por la red convolucional Yolov4 reentrenada

Tabla 10

Resultados en la Inteligencia Artificial reentrenada

Clases	Precisión	Recuerdo	Promedio de precisión considerando una intersección del 50%	F1 - Score
Plásticos	81 %	72 %	77.04 %	76 %

7. Complementar el modelo de la Inteligencia Artificial con la aplicación del Índice de Costas Limpias (Alkalay et al., 2007).

Se obtuvo, mediante el desarrollo del software, un módulo externo a la red inteligente YOLOv4 el cual permite ejecutar el *Índice de Costas Limpias* (Alkalay et al., 2007) de acuerdo con las estructuras de datos que se proporcionan en los resultados de detección de la red inteligente.

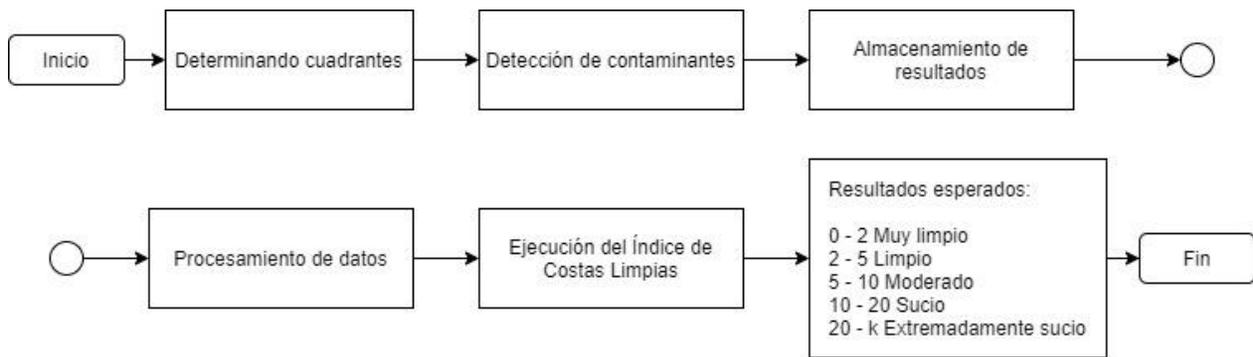


Figura 20. Diagrama de procesos y resultados del módulo externo.

El módulo implementa la fórmula de Alkalay et al. (2008) para relacionar una situación:

$$\frac{\text{No. de plásticos} > a \text{ 3 cm}}{m^2} * k$$

```

Estado_playas.txt: Bloc de notas
Archivo Edición Formato Ver Ayuda
1.0 F:/Cuadrantes/13-06-2021/0005/1028.jpg|34.jpg|0|['very clean', 0]
1.0 F:/Cuadrantes/13-06-2021/0005/1029.jpg|35.jpg|0|['very clean', 0]
1.0 F:/Cuadrantes/13-06-2021/0005/103.jpg|36.jpg|0|['very clean', 0]
1.0 F:/Cuadrantes/13-06-2021/0005/1030.jpg|37.jpg|0|['very clean', 0]
1.0 F:/Cuadrantes/13-06-2021/0005/1031.jpg|38.jpg|[0.386286, 0.763669, 0.02729, 0.044435]:[0.501139, 0.29923, 0.040195, 0.045096]:[2]['extremely dirty', 40.0]
1.0 F:/Cuadrantes/13-06-2021/0005/1032.jpg|39.jpg|0|['very clean', 0]
1.0 F:/Cuadrantes/13-06-2021/0005/1033.jpg|40.jpg|[0.279384, 0.459557, 0.036959, 0.040481]:[1]['dirty', 20.0]
1.0 F:/Cuadrantes/13-06-2021/0005/1034.jpg|41.jpg|0|['very clean', 0]
1.0 F:/Cuadrantes/13-06-2021/0005/1035.jpg|42.jpg|0|['very clean', 0]
1.0 F:/Cuadrantes/13-06-2021/0005/1036.jpg|43.jpg|0|['very clean', 0]
1.0 F:/Cuadrantes/13-06-2021/0005/1037.jpg|44.jpg|0|['very clean', 0]
1.0 F:/Cuadrantes/13-06-2021/0005/1038.jpg|45.jpg|[0.45136, 0.237984, 0.023622, 0.040375]:[1]['dirty', 20.0]
1.0 F:/Cuadrantes/13-06-2021/0005/1039.jpg|46.jpg|0|['very clean', 0]
1.0 F:/Cuadrantes/13-06-2021/0005/104.jpg|47.jpg|0|['very clean', 0]
1.0 F:/Cuadrantes/13-06-2021/0005/1040.jpg|48.jpg|0|['very clean', 0]
1.0 F:/Cuadrantes/13-06-2021/0005/1041.jpg|49.jpg|[0.56002, 0.218489, 0.023231, 0.027028]:[1]['dirty', 20.0]
1.0 F:/Cuadrantes/13-06-2021/0005/1042.jpg|50.jpg|0|['very clean', 0]
1.0 F:/Cuadrantes/13-06-2021/0005/1043.jpg|51.jpg|0|['very clean', 0]
1.0 F:/Cuadrantes/13-06-2021/0005/1044.jpg|52.jpg|0|['very clean', 0]
1.0 F:/Cuadrantes/13-06-2021/0005/1045.jpg|53.jpg|0|['very clean', 0]
1.0 F:/Cuadrantes/13-06-2021/0005/1046.jpg|54.jpg|0|['very clean', 0]
1.0 F:/Cuadrantes/13-06-2021/0005/1047.jpg|55.jpg|0|['very clean', 0]
1.0 F:/Cuadrantes/13-06-2021/0005/1048.jpg|56.jpg|0|['very clean', 0]
1.0 F:/Cuadrantes/13-06-2021/0005/1049.jpg|57.jpg|0|['very clean', 0]
1.0 F:/Cuadrantes/13-06-2021/0005/105.jpg|58.jpg|[0.685861, 0.805968, 0.037436, 0.054049]:[1]['dirty', 20.0]
1.0 F:/Cuadrantes/13-06-2021/0005/1050.jpg|59.jpg|0|['very clean', 0]
1.0 F:/Cuadrantes/13-06-2021/0005/1051.jpg|60.jpg|0|['very clean', 0]
1.0 F:/Cuadrantes/13-06-2021/0005/1052.jpg|61.jpg|0|['very clean', 0]
1.0 F:/Cuadrantes/13-06-2021/0005/1053.jpg|62.jpg|0|['very clean', 0]
1.0 F:/Cuadrantes/13-06-2021/0005/1054.jpg|63.jpg|0|['very clean', 0]
1.0 F:/Cuadrantes/13-06-2021/0005/1055.jpg|64.jpg|0|['very clean', 0]
1.0 F:/Cuadrantes/13-06-2021/0005/1056.jpg|65.jpg|0|['very clean', 0]
1.0 F:/Cuadrantes/13-06-2021/0005/1057.jpg|66.jpg|0|['very clean', 0]
1.0 F:/Cuadrantes/13-06-2021/0005/1058.jpg|67.jpg|0|['very clean', 0]
1.0 F:/Cuadrantes/13-06-2021/0005/1059.jpg|68.jpg|0|['very clean', 0]
1.0 F:/Cuadrantes/13-06-2021/0005/106.jpg|69.jpg|[0.145258, 0.018809, 0.025498, 0.023809]:[0.08561, 0.264457, 0.023362, 0.025602]:[2]['extremely dirty', 40.0]
1.0 F:/Cuadrantes/13-06-2021/0005/1060.jpg|70.jpg|0|['very clean', 0]
1.0 F:/Cuadrantes/13-06-2021/0005/1061.jpg|71.jpg|0|['very clean', 0]
1.0 F:/Cuadrantes/13-06-2021/0005/1062.jpg|72.jpg|0|['very clean', 0]
1.0 F:/Cuadrantes/13-06-2021/0005/1063.jpg|73.jpg|0|['very clean', 0]
  
```

Figura 21. Archivo de texto con resultados almacenados del módulo externo del índice de Costas Limpias de una playa por cuadrante

8. Comparar mediante una prueba estadística las detecciones realizadas por la Inteligencia Artificial en las playas de estudio

La prueba estadística Kruskal-Whallis presentó un valor P menor a 0.05; con ello, se establece el rechazo de la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna. Entonces, se establece que existe una acumulación de plásticos diferenciada en al menos una de las playas. Con lo anterior, se realizó un diagrama de cajas, para representar esta diferencia gráficamente. Finalmente, con la prueba no paramétrica y el diagrama de cajas previo, es suficiente para observar una acumulación de plástico significativamente diferente entre las playas de estudio Mocambo y Santa Ana, y entre las playas de estudio y la playa control Farallón.

▣ KRUSKAL-WALLIS

Prueba de Kruskal-Wallis: Acumulación_plástico vs. Playa

Estadísticas descriptivas

Playa	N	Mediana	Clasificación de medias	Valor Z
1	24	73.0	43.3	5.54
2	24	25.5	21.4	-2.96
3	9	14.0	11.3	-3.49
General	57		29.0	

Prueba

Hipótesis nula H₀: Todas las medianas son iguales

Hipótesis alterna H₁: Al menos una mediana es diferente

Método	GL	Valor H	Valor p
No ajustado para empates	2	33.07	0.000
Ajustado para empates	2	33.09	0.000

Figura 22. Prueba no paramétrica empleada para determinar si las playas de estudio presentan una acumulación de plástico. Nota: (playa 1) Mocambo, (playa 2) Santa Ana y (playa 3) playa de control, Farallón.

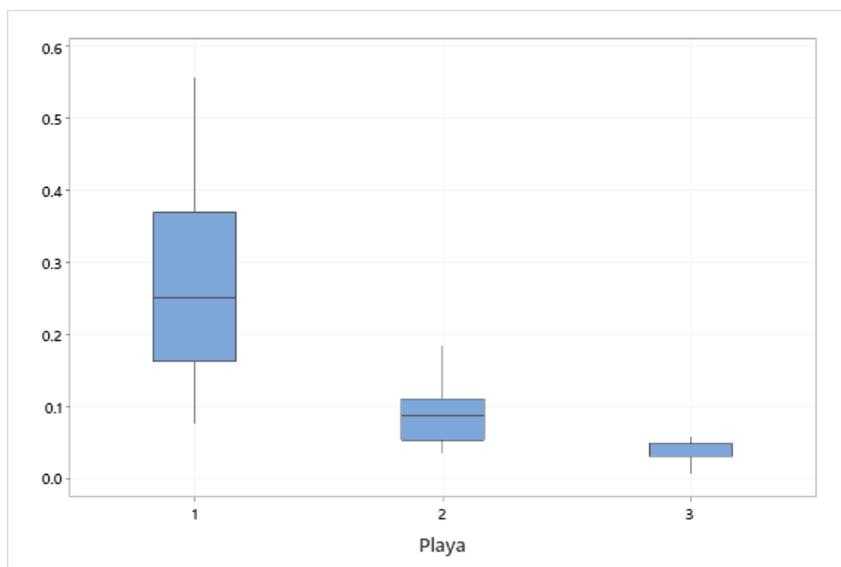


Figura 23. Diagrama de caja del promedio de la densidad de plástico por metro cuadrado. Nota: (playa 1) Mocambo, (playa 2) Santa Ana y (playa 3) playa de control, Farallón.

9. Determinar el grado de contaminación por materiales plásticos en playas

Se obtuvo un archivo de texto (.txt) con los estados de contaminación en cada una de las playas de forma mensual; un fragmento de esta información se observa en las Figura 23 y 24. Aunado a ello, se establecen la situación de contaminantes plásticos por temporada y año, que se observa en las Tablas 11, 12 y 13, establecidas con la clasificación del Índice de Costas Limpias presente en la Tabla 14. Posteriormente, se obtiene la incidencia de los contaminantes plástico en las playas de estudio; Figuras 25, 26 y 27. Entonces, con los resultados anterior y las pruebas estadísticas de validación, se establece el estado de contaminantes plásticos que presentan las playas de Boca del río.

resultados_Farallon_15-05-2022_0747.txt	14/08/2022 08:01 p. m.	Documento de te...	412 KB
resultados_Farallon_15-05-2022_0752.txt	14/08/2022 08:04 p. m.	Documento de te...	417 KB
resultados_Farallon_15-05-2022_0759.txt	14/08/2022 08:07 p. m.	Documento de te...	413 KB
resultados_Mocambo_16-05-2022_0769.txt	14/08/2022 08:09 p. m.	Documento de te...	322 KB
resultados_Mocambo_16-05-2022_0775.txt	14/08/2022 08:12 p. m.	Documento de te...	318 KB
resultados_Mocambo_16-05-2022_0781.txt	14/08/2022 08:14 p. m.	Documento de te...	332 KB
resultados_SantaAnna_19-05-2022_0785.txt	14/08/2022 08:17 p. m.	Documento de te...	412 KB
resultados_SantaAnna_19-05-2022_0796.txt	14/08/2022 08:21 p. m.	Documento de te...	435 KB
resultados_SantaAnna_19-05-2022_0804.txt	14/08/2022 08:24 p. m.	Documento de te...	416 KB

Figura 24. Resultados mensuales en formato de texto de los estados de contaminación estimada.

```
resultados_Farallon_15-05-2022_0747.txt: Bloc de notas
Archivo Edición Formato Ver Ayuda
{
  "frame_id":69,
  "filename":"F:/Users/PC-Documents/Investigacion/Cuadrantes/9.-Mayo/15-05-2022/Farallon/0747/1059.jpg",
  "objects": [
  ]
},
{
  "frame_id":70,
  "filename":"F:/Users/PC-Documents/Investigacion/Cuadrantes/9.-Mayo/15-05-2022/Farallon/0747/106.jpg",
  "objects": [
    {"class_id":0, "name":"plastico", "relative_coordinates":{"center_x":0.382971, "center_y":0.798411, "width":0.282808, "height":
    }
  ]
},
{
  "frame_id":71,
  "filename":"F:/Users/PC-Documents/Investigacion/Cuadrantes/9.-Mayo/15-05-2022/Farallon/0747/1060.jpg",
  "objects": [
  ]
},
{
  "frame_id":72,
```

Figura 25. Información contenida en un resultado mensual en formato de texto.

Tabla 11*Situación del plástico en playa Farallón entre el 2021 y 2022*

Playa	Farallón				Clean Coast Index			
Temporada	Lluvias	Frentes fríos	Estiaje	Anual	Lluvias	Frentes fríos	Estiaje	Anual
Plástico promedio por mes	45	55	40	46.67	1.0	1.3	0.9	3.2
Metro cuadrado de plástico	0.013	0.016	0.011	0.013	Estado con base al índice			
Total de plásticos	180	220	160	560	Muy limpio	Muy limpio	Muy limpio	Limpio

Nota: El valor del índice se obtiene, multiplicando el plástico promedio por mes, por cuatro, y posteriormente dividir el producto entre el área estudiada que para este caso fueron 3,500 m².

Tabla 12*Situación del plástico en playa Mocambo entre el 2021 y 2022*

Playa	Mocambo				Clean Coast Index			
Temporada	Lluvias	Frentes fríos	Estiaje	Anual	Lluvias	Frentes fríos	Estiaje	Anual
Plástico promedio por mes	223.33	206.5	252	227.28	5.1	4.7	5.8	15.6
Metro cuadrado de plástico	0.064	0.059	0.072	0.065	Estado con base al índice			
Total de plásticos	893.32	826	1008	2727.32	Moderado	Limpio	Moderado	Sucio

Nota: El valor del índice se obtiene, multiplicando el plástico promedio por mes, por cuatro, y posteriormente dividir el producto entre el área estudiada que para este caso fueron 3,500 m².

Tabla 13

Situación del plástico en playa Santa Ana entre el 2021 y 2022

Playa	Santa Ana				Clean Coast Index			
	Temporada	Lluvias	Frentes fríos	Estiaje	Anual	Lluvias	Frentes fríos	Estiaje
Plástico promedio por mes	98.67	83	67	82.89	2.26	1.90	1.53	5.68
Metro cuadrado de plástico	0.028	0.024	0.019	0.024	Estado con base al índice			
Total de plásticos	394.68	332	268	994.68	Limpio	Muy limpio	Muy limpio	Moderado

Nota: El valor del índice se obtiene, multiplicando el plástico promedio por mes, por cuatro, y posteriormente dividir el producto entre el área estudiada que para este caso fueron 3,500 m².

Tabla 14

Índice de referencia para establecer una situación de la contaminación plástica en las playas de estudio

Índice de costas limpias		Descripción
1 a 2	Muy limpio	No se observan plásticos en la costa
2 a 5	Limpio	Se observan plásticos separado en grandes distancias de la costa
5 a 10	Moderado	Se observas plásticos en cortas y largas distancias de la costa
10 a 20	Sucio	Se observan cúmulos de plástico en las costas
20 a +	Extremadamente sucio	La costa se encuentra en su mayoría cubierta por plástico

Nota: Índice de Costas Limpias recuperado de Alkalay et al. (2008).

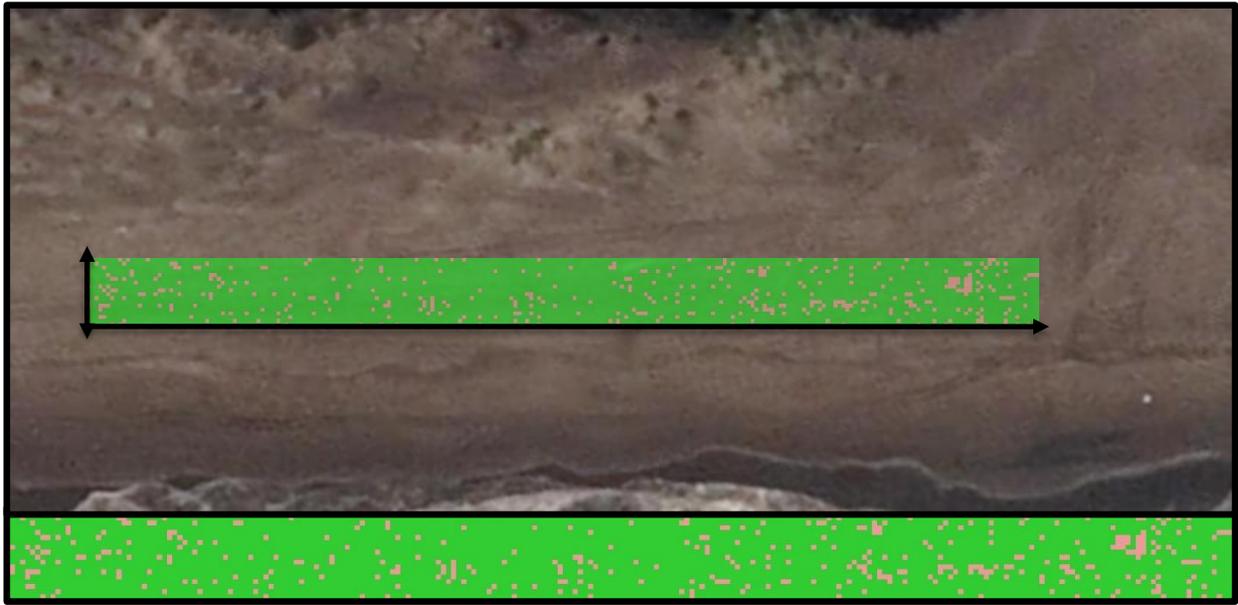


Figura 26. Mapa de incidencia anual de los contaminantes plásticos en paya Farallón, Actopan. Nota: las tonalidades de rojo reflejan la saturación de plástico en el área estimada, la tonalidad verde refleja la ausencia de plástico y la flecha en negro indica la dirección en la que se concentra el plástico.

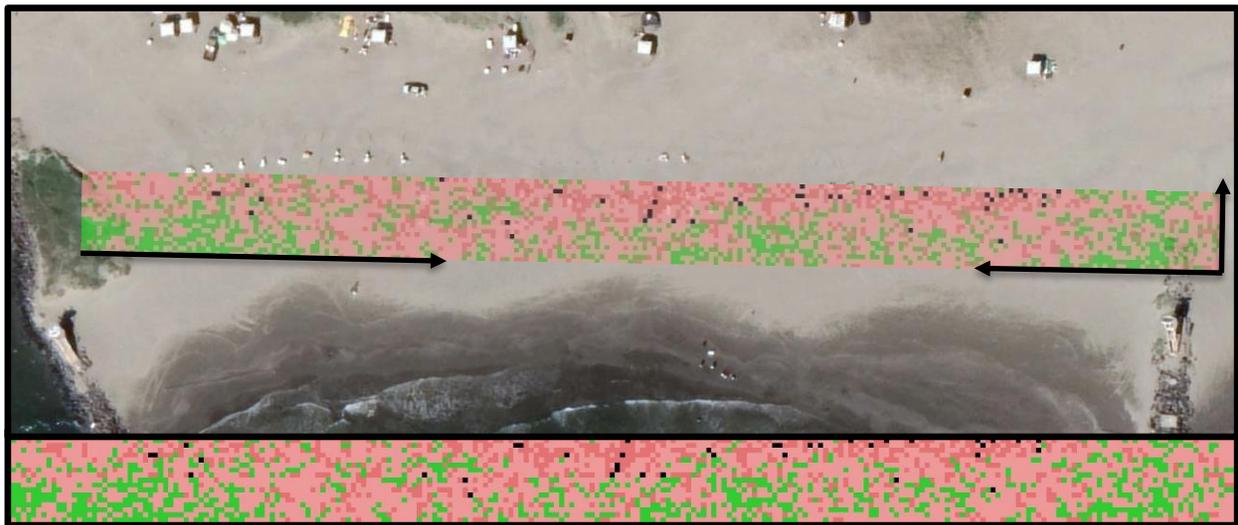


Figura 27. Mapa de incidencia anual de los contaminantes plásticos en playa Mocambo, Boca del Río, Veracruz. Nota: las tonalidades de rojo reflejan la saturación de plástico en el área estimada, la tonalidad verde refleja la ausencia de plástico y la flecha en negro indica la dirección en la que se concentra el plástico.

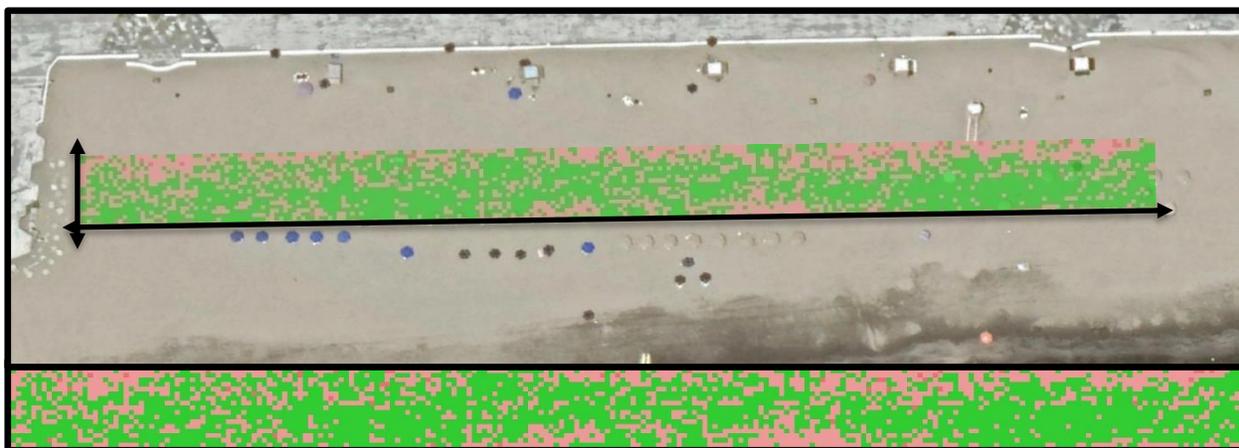


Figura 28. Mapa de distribución y concentración de contaminantes plásticos en playa Santa Ana, Boca del Río, Veracruz. Nota: las tonalidades de rojo reflejan la saturación de plástico en el área estimada, la tonalidad verde refleja la ausencia de plástico y la flecha en negro indica la dirección en la que se concentra el plástico.

Discusión

Para el registro de las playas se utilizó un RPA marca DJI modelo Mavic mini 2. Este difiere de los modelos empleados en la representación digital de las playas. No obstante, las diferencias técnicas no impiden llevar a cabo el trabajo, Tabla 15 y Tabla 16.

Tabla 15

Modelos de RPA empleados en diferentes trabajos de investigación

Propio		
Marca	Modelo	Trabajo
DJI	Mavic Mini 2	Propio
Otros trabajos		
	Phantom 3 Advance	Martin et al. (2018) Goncalvez C., et al 2020
	Phantom 4	Fallati et al. (2019) Gonçalves, Andriolo, Gonçalves, et al. (2020)
DJI	Phantom 4 Pro	Merlino et al. (2020) Gonçalves, Andriolo, Pinto and Bessa (2020) Gonçalves, Andriolo, Pinto and Duarte (2020) Martin et al. (2021) Andriolo, Gonçalves, Rangel- Buitrago, et al. (2021)

Phantom 4 Pro v2	Merlino et al. (2020)
	Papakonstantinou et al. (2021)
Phantom 4 RTK	Goncalvez C., et al. 2020
	Pinto et al. (2021)
Matrice 210 RTK V2	Andriolo, Gonçalves, Bessa, et al. (2020)
	Andriolo, Gonçalves, Sobral, et al. (2021)

Tabla 16

Diferencias técnicas en los RPA´s empleados en las investigaciones

RPA	Sensor	Distancia Focal (mm)	Resolución	Resistencia al viento (m/s)	GPS	Peso (g)
Phantom 3 Advance	Sony Exmor R BSI 1/2.3"	3.54 (teórico)	Cámara: 4000 x 3000 Video: 2704 x 1520	n/a	GPS/GLONASS	1,280
Mavic mini 2	CMOS 1/2.3"	4.4	Cámara: 4000 x 3000 Video: 3840 x 2160	9.5	GPS+GLONAS+Galileo	<249
Phantom 4	CMOS 1/2.3"	8.8	Cámara: 4000 x 3000 Video: -	10	GPS/GLONASS	1375
Phantom 4 Pro	CMOS 1"	8.8	Cámara: 5472 x 3648 Video: 4096 x 2160	10	GPS/GLONASS	1388
Phantom 4 Pro v2	CMOS 1/2.3"	8.8	Cámara: 5472 x 3648 Video: 4096 x 2160	10	GPS/GLONASS	1375
Phantom 4 RTK	CMOS 1"	8.8	Cámara: 5472 x 3648 Video: 3840 x 2160	10	RTK GPS+GLONASS +Galileo	1391
Matrice 210 RTK v2	-Zenmuse X5S (adaptable): CMOS 4/3", n/a, C: 5280 x 3956 y V: 4096 x 2160			12	GPS+GLONASS +BeiDou+Galileo	4910

-Multi Spectral Sentera AGX
710(adaptable): 12 MP BSI CMOS,
n/a.

Por otro lado, en el desarrollo del trabajo, el Mavic mini 2 no contaba con aplicaciones de escritorio o en su caso aplicaciones móviles Android o Apple para el desarrollo de ortomosaicos que, en los RPAs modelo Phantom 3 y 4 y Matrice 210 RTK sí. No obstante, una razón importante del uso del Mavic mini 2 era que el RPA debía realizar vuelos menores a los 10 m, que en estas aplicaciones estaban establecidos como el vuelo mínimo a baja altura. Otra razón importante fue que en dos de las playas en donde se realizaron los vuelos, Playa Mocambo y Santa Ana, cuentan con zonas urbanas adyacentes y tránsito de personas constante, en donde los accidentes con aeronaves de mayor peso pueden comprometer seriamente la integridad de las personas, caso que en los modelos Mavic mini son mínimas.

Para detectar la acumulación de contaminantes plástico en las playas de forma independiente al uso de RPAs fue necesario identificar y limitar en la medida de lo posible la intervención de variables de ruido; variables que se identificaron fueron: servicios de limpieza, actividades recreativas y eventos extraordinarios. De tal modo que se establecieron los vuelos al amanecer, posteriormente a los servicios de limpieza y en eventos extraordinarios (competencia, turismo fuera de temporada, actividades escolares, etc) se cancelaron los vuelos por la incidencia de personas. Por otro lado, en el registro de las playas con RPAs, la incapacidad del Mavic mini 2 para realizar ortomosaicos, llevo a desarrollar una metodología alternativa basada en la captura de los cuadros por segundo de un video y la generación de un mosaico de imágenes que permitiera digitalizar las playas. No obstante, el 1° de enero del 2022, la empresa DJI, fabricante de los Mavic mini 2, libero el software de control de vuelo, habilitando que terceros ofrecieran el vuelo programado de ortomosaicos en está aeronave. Con lo anterior, el inconveniente del mosaico de imágenes que se genera en este trabajo es el uso de dos GSD, el correspondiente a las distancias entre pixeles verticales y el correspondiente a los pixeles horizontales y determinar una velocidad constante y ajustada para obtener una nitidez en la imagen. A demás, el mosaico generado se almacena en tres sub mosaicos por cuestiones de la capacidad del hardware para su carga y observación, estos problemas ocurren de igual forma con los ortomosaicos por lo que es una cuestión de diseño y capacidades del hardware representar un terreno en uno o varios de ellos. No obstante, los sub mosaicos almacenados son segmentados para su análisis mediante la inteligencia artificial. En la cuestión del espacio observable en las playas, con esta metodología no se presentaron complicaciones. De igual forma, la posibilidad de observar objetos como los

plásticos a través de las imágenes es posible. En el mismo sentido, los objetos observables si presentaron dificultades para ser identificados cuando estos presentaban un tamaño menor a 9 centímetros cuadrados.

Tabla 17

Tabla de resoluciones del terreno y áreas registradas en diferentes investigaciones

Trabajo	Ground Sample Distance (GSD) (mm / pixel)	Altura (m)	Área observada (m²)
Martin et al. (2018)	6	10	325 x 23
Gonçalves, Andriolo, Pinto and Bessa (2020)	5.5	20	100 x 200
Fallati et al. (2019)	4.4, 8.2 y 14	10, 15 y 35	n/a
Gonçalves, Andriolo, Gonçalves, et al. (2020)	5.5	20	1 ha
Merlino et al. (2020)	1.7	6	100 x 15
Gonçalves, Andriolo, Pinto and Duarte (2020)	5.5	20	100 x 200
Andriolo, Gonçalves, Bessa, et al. (2020)	12	40	200 x 80
Andriolo, Gonçalves, Sobral, et al. (2020)	9 y 10	30 y 40	460 x 120
Papakonstantinou et al. (2021)	4.9	18	337 x 147
Andriolo, Gonçalves, Rangel-Buitrago, et al. (2021)	5.5 y 1.6	20 y 6	42 x 42 y 50 x 15
Merlino et al. (2021)	4.1	15	150 x 7
Andriolo, Gonçalves, Sobral, et al. (2021)	12	40	80 x 200
Pinto et al. (2021)	9	30	460 x 120
Martin et al. (2021)	6	10	13.4 ha
Propio			
Propio	2.3 H y 3.0 V	6	51 x 200

Nota. H hace referencia a el ancho u horizontal de la imagen y V al alto o vertical de la imagen.

A demás, se coincide en que los factores ambientales como el viento y la lluvia repercuten drásticamente en la aplicación de los RPAS que, para este trabajo se voló en condiciones de viento promedio de 6.5 km/h y los vuelos fueron cancelados a partir de los 9 km/h. En el caso de las lluvias, los vuelos no se realizaron. Para la división de cuadrantes, se consideró el GSD horizontal de 2.3 mm/px y el vertical 3.0 mm/px, se obtuvieron cuadrantes de 443 x 334 pixeles, equivalentes en distancia a $1 \times 1 \text{ m}^2 \pm 0.1\text{m}^2$, y posteriormente, sin afectar la distancia, fueron redimensionados a 576 x 576 para facilitar el análisis de la Inteligencia Artificial. Por otro lado, en el desarrollo de la inteligencia artificial fue posible establecer 3 modelos para estimar la contaminación plástica. En este sentido, un modelo fue consecuente al anterior. De los tres modelos, se seleccionó aquel con el mejor desempeño evaluándolo por medio de una matriz de confusión y un conjunto de entrenamiento conformado de 49 imágenes con diferentes ruidos y dificultades que se presentan en las playas, Tabla 14.

Tabla 18

Comparativa del desempeño de los modelos de inteligencia artificial para estimar la contaminación plástica.

Desempeño de la Inteligencia Artificial sobre un conjunto de datos de evaluación de las playas de estudio								
Modelo	TP	FP	TN	FN	Exactitud	Precisión	Sensibilidad	Especificidad
1	14	1	13	21	55%	93%	40%	93%
2	21	6	9	13	61%	78%	62%	60%
3	29	2	13	5	86%	94%	85%	87%

Nota: el modelo 3 fue el utilizado en el proyecto debido a que presentó el mejor desempeño.

Aunado a ello, el desempeño del modelo se encuentra en el rango alto de los desempeños alcanzados por otros autores, Tabla 19. Sin embargo, salvo que sea la misma inteligencia artificial, la información de aprendizaje variara de forma diferente y con ello la precisión variara en cada IA desarrollada. Por otro lado, en el conjunto de datos, se utilizó una base de datos enfocada en materiales plásticos, datos propios de las playas y el aumento de datos con técnicas propuestas por la red YOLOv4. Se aplicó un redimensionamiento de las imágenes a 576x576 puesto que es el máximo de pixeles que YOLOv4 puede procesar a la vez. Por el lado del complemento de los contaminantes plásticos, se escogió el desarrollo de un módulo externo que emplea el Clean Coast Index, para no comprometer el funcionamiento y el desempeño propio de la Inteligencia Artificial YOLOv4. No obstante, el Clean Coast Index, es un índice con un enfoque de manejo de playas que relaciona los plásticos mayores o iguales a 3 cm en la superficie de las playas a una afectación socioeconómica para determinar el estado de estas. En este sentido,

reinterpretando el índice como en la Tabla 20, se puede abordar desde un enfoque ambiental de contaminación, si los plásticos evaluados en el índice son productos de una acumulación de plásticos, lo cual da origen a una contaminación plástica en el peor de los casos.

Tabla 19

Comparativa de las diferentes técnicas de inteligencia artificial empleadas en la detección de contaminantes plásticos

Autores	Enfoque	Forma de aprendizaje	Sensibilidad (%)	Precisión (%)	F-score (%)
Martin et al. (2018)	<i>Random Forest</i>	Descriptor de píxel	39.5	8	13
Fallati et al. (2019)	<i>Convolutional Neural Network</i>	Matriz de pixeles	67	94	78
			44	54	49
Gonçalves, Andriolo, Pinto and Bessa (2020)	<i>Random Forest</i>	Descriptor de píxeles	77	74	76
			53	62	57
Gonçalves, Andriolo, Pinto and Duarte (2020)	<i>Random Forest</i>	Descriptor de píxeles	72	73	72
			64	44	52
			71	70	70
	<i>Convolutional Neural Network</i>	Descriptor de píxeles	65	54	59
			64	38	48
			65	55	60
Gonçalves, Andriolo, Gonçalves, et al. (2020)	<i>Random Forest</i>	Descriptor de píxeles	65	75	70
			70	75	73
	<i>Support Vector Machine</i>		63	78	69
			61	75	67
	<i>K – Nearest Neighbor</i>		61	68	64
63	67	65			
Pinto et al. (2021)	<i>Convolutional Neural Network</i>	Descriptor de píxeles	49	56	49
Martin et al. (2021)	<i>Convolutional Neural Network</i>	Matriz de pixeles	46.5	63.8	44.2
Propio					
Propio	<i>Convolutional Neural Network</i>	Matriz de pixeles	72	81	76

Tabla 20

Índice reinterpretado para presenciar una situación de la contaminación plástica en las playas.

Interpretación	Índice de costas limpias	Descripción reinterpretada
Limpia	Muy limpio	No se observan contaminantes plásticos en la costa
Con presencia de contaminantes plásticos	Limpio	Se observan contaminantes plásticos separado en grandes distancias de la costa
Comprometida por contaminantes plásticos	Moderado	Se observan contaminantes plásticos en cortas y largas distancias de la costa
En riesgo de una Contaminación plástica	Sucio	Se observan cúmulos de contaminantes plástico en las costas
Contaminado	Extremadamente sucio	La costa presenta una contaminación plástica.

Nota: La reinterpretación se da a raíz de la situación que se provoca cuando el Índice de Costas Limpias Alkalay et al. (2008) es enfocado a las repercusiones de los contaminantes plásticos como lo son: la exposición a la intemperie, afectación en el ámbito socioeconómico (como ya lo es el propio índice) y afectación a la salud animal y humana.

La prueba estadística es utilizada como filtro de validación para determinar un proceso de acumulación significativa. Lo anterior, permite discernir playas que reciben contaminantes plásticos esporádicamente, de aquellas que acumulan constantemente estos contaminantes en su costa. No obstante, aún debe trabajarse la precisión de la inteligencia artificial para disminuir la incertidumbre en la prueba estadística. En el primer modelo se presentó ruido asociado a materiales con colores y rasgos semejantes al de los contaminantes plásticos. En este sentido, la Playa Farallón fue quien presentó el mayor ruido en la información de las playas. Por otro lado, en el tercer modelo entrenado, el ruido presente representa menos del 25 % de la información presente en las tres playas. Aunado a ello, se realiza un tratamiento de los datos para eliminar este ruido generado.

La determinación de la contaminación plástica se establece por dos partes previamente mencionadas, el Índice de Costas Limpias y la prueba estadística que determina una acumulación de plásticos en la playa de estudio.

CONCLUSIONES

Se concluye que la hipótesis general planteada no se rechaza, es decir:

- De acuerdo con el Índice de Costas Limpias, la playa Mocambo presentó un estado limpio en la temporada de frentes fríos y moderado en las temporadas de lluvia y estiaje, así como un estado sucio en el acumulado anual. Es una playa en riesgo de presentar contaminación plástica, debido a que, entre el año 2021 y 2022, recibió y acumuló 2,727 plásticos con un rango de tamaño entre 2.5-37 cm cada 3,500 m², así como 2.7 veces más contaminantes plásticos que la playa Santa Anna.
- De acuerdo con el Índice de Costas Limpias, la playa Santa Ana presentó un estado limpio en la temporada de lluvias y un estado muy limpio en las temporadas de frentes fríos y estiaje, así como, un estado moderado en el acumulado anual. Es una playa comprometida por contaminantes plásticos más no presenta riesgo de una contaminación plástica, debido a que, entre el año 2021 y 2022, recibió y acumuló 994 plásticos con un rango de tamaño entre 2.5–27 cm cada 3,500 m².

Con base en las hipótesis particulares planteadas se concluye lo siguiente

1. Se realizó un registro digital mediante fotogrametría de la playa alta de las playas Santa Ana y Mocambo creando un mosaico de imágenes con una división en cuadrantes de 1 x 1 metro.
2. Se cumplió un reentrenamiento de la inteligencia artificial YOLOv4 para la contaminación plástica con plásticos mayores a 2.5 cm.
3. La acumulación de plásticos en las playas Santa Ana y Mocambo es significativamente diferente entre ellas, y con respecto a la playa control Farallón durante las temporadas estudiadas.
4. La Inteligencia Artificial alcanzó una precisión del 81 % y un desempeño F-score del 76 % sobre la detección de la contaminación plástica en las playas estudiadas.

RECOMENDACIONES

- Es necesario conocer las leyes y regulaciones impuestas sobre los sistemas aéreos pilotados a distancia (RPAS) en el país en donde se planea utilizar. Estas leyes y regulaciones varían para cada país y pueden ser menos o más restrictivas sobre su uso.
- Al realizar los vuelos del RPA debe considerarse las características técnicas, el terreno que se desea volar y la situación meteorológica.
- En el entrenamiento de la Inteligencia Artificial (IA) se debe trabajar con una base de datos amplia (mayores o iguales a 2,000 imágenes por clase para este trabajo con la IA utilizada), variable y balanceada en los ejemplos utilizados.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- American_Society_for_Cybernetics. (2022). *History of Cybernetics*. <https://asc-cybernetics.org/foundations/timeline.htm>
- Andrady, A., L.; Neal, Mike, A.; (2009). Applications and societal benefits of plastics. 364(1526), 1977-1984. <https://doi.org/10.1098/rstb.2008.0304>
- Andriolo, U., Gonçalves, G., Bessa, F., y Sobral, P. J. S. o. t. T. E. (2020). Mapping marine litter on coastal dunes with unmanned aerial systems: A showcase on the Atlantic Coast. 736, 139632.
- Andriolo, U., Gonçalves, G., Rangel-Buitrago, N., Paterni, M., Bessa, F., Gonçalves, L. M., . . . Fontán-Bouzas, Á. J. M. P. B. (2021). Drones for litter mapping: An inter-operator concordance test in marking beached items on aerial images. 169, 112542.
- Andriolo, U., Gonçalves, G., Sobral, P., y Bessa, F. J. M. P. B. (2021). Spatial and size distribution of macro-litter on coastal dunes from drone images: A case study on the Atlantic coast. 169, 112490.
- Andriolo, U., Gonçalves, G., Sobral, P., Fontán-Bouzas, Á., y Bessa, F. (2020). Beach-dune morphodynamics and marine macro-litter abundance: An integrated approach with Unmanned Aerial System. *Science of The Total Environment*, 749, 141474. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141474>
- Baekeland, L., Hendrik. (1909). The Synthesis, Constitution, and Uses of Bakelite. *Journal of Industrial y Engineering Chemistry*, 1(3), 149 - 161. <https://doi.org/10.1021/ie50003a004>
- Baekeland, L., Hendrik. (1910). Bakelite, a condensation product of phenols and formaldehyde, and its uses. *Journal of the Franklin Institute*, 169(1), 55 - 60. [https://doi.org/10.1016/S0016-0032\(10\)90300-1](https://doi.org/10.1016/S0016-0032(10)90300-1)
- Carpenter, E., J., y Smith, J., K., L. (1972). Plastics on the Sargasso Sea Surface. *Science*, 175(4027), 1240-1241. <https://doi.org/10.1126/science.175.4027.1240>
- Carranza-Edwards, A., y Caso-Chávez, M. (1994). Zonificación del perfil de playa. *Geo-UNAM*, 2(2), 26-32. <https://biblat.unam.mx/es/revista/geo-unam>
- Cepero, G., María, Teresa, Leal, A., María, Teresa, y Castillo, G., Eduardo. (2018). *APLICACIÓN DE ESTÁNDARES DE CERTIFICACIÓN PARA EL DIAGNÓSTICO Y GESTIÓN DE PLAYAS* Congreso Internacional de Investigación Academia Journals, Morellia, Michoacán, México.
- Chamas, A., Moon, H., Zheng, J., Qiu, Y., Tabassum, T., Jang, J., Hee, . . . Suh, S. (2020). Degradation Rates of Plastics in the Environment. *ACS Sustainable Chemistry Engineering*, 8(9), 3494-3511. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.9b06635?ref=pdf>
- Coleman, F., C., y Wehle, D., H., S. (1984). Plastic Pollution: A worldwide oceanic problem. *Parks*, 9(1), 9-12.
- Dick, S. (2019). Artificial intelligence. *Harvard Data Science Review*(1.1). <https://doi.org/10.1162/99608f92.92fe150c>
- DJI. (2021). *Mavic Mini 2*. Retrieved Noviembre from <https://www.dji.com/mx/downloads?site=brandsiteyfrom=nav>
- Elías, R. (2015). Mar del plástico: una revisión del plástico en el mar. *Revista de Investigación y Desarrollo Pesquero*, 27, 83-105. <http://hdl.handle.net/1834/10964>

- Fallati, L., Polidori, A., Salvatore, C., Saponari, L., Savini, A., y Galli, P. (2019). Anthropogenic Marine Debris assessment with Unmanned Aerial Vehicle imagery and deep learning: A case study along the beaches of the Republic of Maldives. *Science of The Total Environment*, 693, 133581. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.133581>
- Gallegos, J., Oswaldo. (2008). Organización espacial del corredor turístico Veracruz-Boca del Río. *Teoría y Praxis*(5), 171-186. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=456145110014>
- Gonçalves, G., Andriolo, U., Gonçalves, L., Sobral, P., y Bessa, F. (2020). Quantifying Marine Macro Litter Abundance on a Sandy Beach Using Unmanned Aerial Systems and Object-Oriented Machine Learning Methods. 12(16), 2599. <https://www.mdpi.com/2072-4292/12/16/2599>
- Gonçalves, G., Andriolo, U., Pinto, L., y Bessa, F. J. S. o. T. T. E. (2020). Mapping marine litter using UAS on a beach-dune system: a multidisciplinary approach. 706, 135742.
- Gonçalves, G., Andriolo, U., Pinto, L., y Duarte, D. (2020). Mapping marine litter with Unmanned Aerial Systems: A showcase comparison among manual image screening and machine learning techniques. *Marine pollution bulletin*, 155, 111158. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111158>
- Google. (2022). Google Colab. <https://colab.research.google.com/>
- INEGI. (2020). *Anuario estadístico y geográfico de los Estados Unidos Mexicanos 2020*. <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=889463901617>
- Jambeck, J., R., Geyer, R., Wilcox, C., Siegler, T., R., Perryman, M., Andrady, A., . . . Law, K., Lavender. (2015). Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science*, 347(6223), 768-771. <https://doi.org/10.1126/science.1260352>
- Lechthaler, S., Waldschläger, K., Stauch, G., y Schüttrumpf, H. (2020). The Way of Macroplastic through the Environment. *Environments*, 7(10), 73. <https://doi.org/10.3390/environments7100073>
- López, H., A., A. (2018). *ANÁLISIS DE LA PRESENCIA DE RESIDUOS SÓLIDOS PLÁSTICOS EN LAS PLAYAS TURÍSTICAS DE VERACRUZ* Instituto Tecnológico de Boca del Río]. Instituto Tecnológico de Boca del Río.
- Luijendijk, A., Hagenaars, G., Ranasinghe, R., Baart, F., Donchyts, G., y Aarninkhof, S. J. S. r. (2018). The state of the world's beaches. 8(1), 1-11.
- Macleod, M., Arp, H., Peter, H., Tekman, M., B., y Jahnke, A. (2021). The global threat from plastic pollution. *Science*, 373(6550), 61-65. <https://doi.org/10.1126/science.abg5433>
- Martin, C., Parkes, S., Zhang, Q., Zhang, X., McCabe, M. F., y Duarte, C. M. (2018). Use of unmanned aerial vehicles for efficient beach litter monitoring. *Marine pollution bulletin*, 131, 662-673.
- Martin, C., Zhang, Q., Zhai, D., Zhang, X., y Duarte, C. M. J. E. P. (2021). Enabling a large-scale assessment of litter along Saudi Arabian red sea shores by combining drones and machine learning. 277, 116730.
- Merlino, S., Paterni, M., Berton, A., y Massetti, L. (2020). Unmanned Aerial Vehicles for Debris Survey in Coastal Areas: Long-Term Monitoring Programme to Study Spatial and Temporal Accumulation of the Dynamics of Beached Marine Litter. 12(8), 1260. <https://www.mdpi.com/2072-4292/12/8/1260>

- Merlino, S., Paterni, M., Locritani, M., Andriolo, U., Gonçalves, G., y Massetti, L. (2021). Citizen Science for Marine Litter Detection and Classification on Unmanned Aerial Vehicle Images. *13*(23), 3349. <https://www.mdpi.com/2073-4441/13/23/3349>
- Narciso-Ortiz, L., Coreño-Alonso, A., Mendoza-Olivares, D., Lucho-Constantino, C. A., y Lizardi-Jiménez, M., Alejandro. (2020). Baseline for plastic and hydrocarbon pollution of rivers, reefs, and sediment on beaches in Veracruz State, México, and a proposal for bioremediation. *Environmental Science Pollution Research*, *27*(18), 23035-23047. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-08831-z>
- Ortiz-Lozano, L., Granados-Barba, A., Espejel, I., Salas-Pérez, J., y González-Gándara, C. (2015). La zona costera de Veracruz a Antón Lizardo: un análisis sobre la vulnerabilidad de sus servicios ambientales The Veracruz to Antón Lizardo coastal zone: a vulnerability analysis of its environmental services. In C. a. a. tiempo (Ed.), *Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano* (Vol. 2, pp. 150). Revista Digital E-BIOS.
- Ortiz-Lozano, L., Granados-Barba, A., Solís-Weiss, V., y García-Salgado, M., A. (2005). Environmental evaluation and development problems of the Mexican Coastal Zone. *Ocean Coastal Management*, *48*(2), 161-176. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2005.03.001>
- Padrón, J. (2007). Tendencias epistemológicas de la investigación científica en el siglo XXI. *Cinta de Moebio. Revista de Epistemología de Ciencias Sociales*(28).
- Papakonstantinou, A., Batsaris, M., Spondylidis, S., y Topouzelis, K. (2021). A Citizen Science Unmanned Aerial System Data Acquisition Protocol and Deep Learning Techniques for the Automatic Detection and Mapping of Marine Litter Concentrations in the Coastal Zone. *5*(1), 6. <https://www.mdpi.com/2504-446X/5/1/6>
- Pérez Lugo, E. (2019). *Patron de corrientes y caracterización hidrográfica de la desembocadura del Río Jamapa en Boca del Río, Veracruz* Instituto Tecnológico de Boca del Río].
- Pinto, L., Andriolo, U., y Gonçalves, G. J. M. P. B. (2021). Detecting stranded macro-litter categories on drone orthophoto by a multi-class Neural Network. *169*, 112594.
- Plastic_Europe. (2020). *Plastic - The Facts 2020*. A. o. P. Manufacturers. <https://plasticseurope.org/>
- Rosenblatt, F. (1958). The perceptron: a probabilistic model for information storage and organization in the brain. *Psychological review*, *65*(6), 386. <https://doi.org/10.1037/h0042519>
- Salas-Pérez, J. d. J., y Granados-Barba, A. (2008). Oceanographic characterization of the Veracruz reefs system. *Atmósfera*, *21*(3), 281-301.
- Schwarz, A., E., Lighthart, T., N., Boukris, E., y Van Harmelen, T. (2019). Sources, transport, and accumulation of different types of plastic litter in aquatic environments: a review study. *Marine pollution bulletin*, *143*, 92-100. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.04.029>
- Science_History_Institute. (2022). *Leo Hendrik Baekeland*. Science History Institute. Retrieved 14-06-2022 from <https://www.sciencehistory.org/historical-profile/leo-hendrik-baekeland>
- SEMARNAT. (2020). *Diagnóstico básico para la gestión integral de los residuos*. <https://www.google.com/url?sa=tyrct=jyq=yesrc=sysource=webycd=ycad=rjayuac t=8yved=2ahUKEwipmKaEtuD4AhUskZUCHXa1CwEQFnoECAwQAQyurl=https>

<https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/data/file/554385/FDBGIR-15-mayo-2020.pdf?usq=AOvVaw3-3RWqQ6SL8iRKVxGc37io>

Shepard, F., P. (1973). *Submarine Geology*. Harper y Row.

Tavares, D., Castro, Moura, J., Fulgêncio, Ceesay, A., y Merico, A. (2020). Density and composition of surface and buried plastic debris in beaches of Senegal. *Science of The Total Environment*, 737, 139633.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139633>

Thompson, R., C., Swan Shanna, H., Moore, C., J. , y Vom Saal, F., S. (2009). Our plastic age. *Philosophical Transactions Royal Society B*, 364(1526), 1973 - 1976.
<https://doi.org/10.1098/rstb.2009.0054>

Wiener, N. (1961). *Cybernetics or control and communication in the animal and the machine* (Second edition ed.). The M.I.T. press.

Zhang, K., Hamidian, A., Hossein, Tubić, A., Zhang, Y., Fang, J., K., H., Wu, C., y Lam, P., K., S. (2021). Understanding plastic degradation and microplastic formation in the environment: A review. *Environmental Pollution*, 274, 116554.
<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.116554>