



# **CONCEPTO DE OPERACIÓN PROPUESTO DE LA APLICACIÓN DE DRONES EN LA INDUSTRIA ACUÍCOLA DE PRECISIÓN PARA COLOMBIA.**

**DANIEL MORA CORDOBA**

Dirigido por  
**Jaime Enrique Orduy Rodriguez M.Sc**

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de:  
**Especialista en Sistemas de Aeronaves No Tripuladas**

Fundación Universitaria Los Libertadores  
Facultad de Ingeniería y Ciencias Básicas  
Bogotá D.C., Colombia.

2022

# Tabla de contenido

Agradecimientos .....	3
Resumen.....	4
Abstract .....	5
1. INTRODUCCIÓN.....	6
2. ANTECEDENTES .....	7
3. METODOLOGÍA .....	10
4. CASO COLOMBIA.....	11
4.1. PRINCIPALES RECURSOS PESQUEROS DEL PAÍS .....	12
5. TIPOS DE PRODUCCIÓN EN ACUICULTURA .....	13
6. ALIMENTACIÓN .....	15
5.1 NUTRICIÓN EN ACUICULTURA.....	16
6.2 SUMINISTRO DE ALIMENTO .....	18
7. ACUICULTURA DE PRECISIÓN.....	20
7.1. SISTEMAS DE ALIMENTACIÓN AUTOMATIZADO .....	21
8. PROPUESTA DE APLICACIÓN DE UAS EN LA ACUICULTURA DE PRECISIÓN .....	24
8.1 CONCEPTO DE OPERACIÓN (MORAA) .....	25
7.2 Ventajas de la aplicación UAS – MORAA.....	27
8 Análisis de implementación de operación. ....	32
9 CONCLUSIONES .....	36
Referencias.....	37

## **Agradecimientos**

A Dios, mi familia que me ha apoyado para continuar estudiando, a los docentes del programa y a las experiencias vividas que conllevaron al planteamiento de la aplicación de los UAS en la acuicultura.

## Resumen

En la medida en que se percibe el acelerado desarrollo y evolución de los drones en la humanidad, de esta misma manera se observa el aumento de la aplicación de este tipo de aeronaves en distintos sectores relacionados a las actividades cotidianas de los hombres y mujeres, teniendo como objetivo principal beneficiar y agilizar dichas actividades gracias al uso del espacio aéreo donde los sistemas de aeronave no tripuladas se desenvuelven, los cuales generan una alternativa a la solución y mejora de problemas tales como el transporte, recolección de información, vigilancia y una variada gama de posibilidades y aplicaciones en diferentes sectores económicos. Se hace cada vez más evidente que el uso seguro de estas plataformas, cumpliendo con las regulaciones, normas, legislaciones y evaluación de riesgos para cada misión, da como resultado un beneficio en el desarrollo de cierta actividad, el cual es medido en términos de reducción y eficiencia del tiempo de operación requerido, una disminución en los costos de operación en comparación a las aeronaves tripuladas y un mayor acceso a esta tecnología ya que para 2022 es de fácil adquisición para la población, lo que promueve a su vez que las aplicaciones varíen según la necesidad del usuario. Por esta razón, y en concordancia con el buen uso de la tecnología, el objetivo de este documento es demostrar de manera concreta el uso y aplicación de los UAS (por sus siglas en inglés *Unmanned Aircraft System*), en la industria acuícola en Colombia, un complemento tecnológico a la acuicultura de precisión. Comenzando con el análisis de las actividades que se requieren en el sector que se encarga del cultivo de las especies acuáticas, vegetales y marinas (acuicultura) para posteriormente proponer el uso de las aeronaves no tripuladas reemplazando ciertas actividades del proceso de cultivo, para que al final se logre una mayor productividad, control, eficiencia y eficacia en el proceso en conjunto.

**Palabras clave:** UAS, Agricultura de Precisión, tilapia, Vehículo Aéreo No Tripulado, Automatización, alimento.

## **Abstract**

To the extent that the accelerated development and evolution of drones in humanity is perceived, the increase in the application of this type of aircraft in different sectors related to the daily activities of men and women is also observed, having as main objective to benefit and streamline these activities thanks to the use of the airspace where unmanned aircraft systems operate, which generate an alternative to the solution and improvement of problems such as transportation, information collection, surveillance and a wide range of possibilities applications in different economic sectors.

It is becoming increasingly evident that the safe use of these platforms, complying with the regulations, standards, legislation and risk assessment for each mission, results in a benefit in the development of a certain activity, which is generally satisfactory. It is measured in terms of reduction and efficiency of the required operating time, a decrease in operating costs compared to manned aircraft and greater access to this technology since it is currently purchased by the population, which promotes In turn, the applications vary according to the user's needs. For the above reasons and in accordance with the good use of technology, the objective of this document is to demonstrate in a concrete way the use and application of the UAS (Unmanned Aircraft System) for its acronym in English, in the precision aquaculture industry in Colombia. Beginning with the analysis of the activities that are currently required in the sector that is responsible for the cultivation of aquatic, vegetable and marine species (aquaculture) to later propose the use of aircraft replacing certain activities of the cultivation process, so that in the end achieve greater productivity, control, efficiency and effectiveness in the process as a whole.

**Keywords:** Drone, UAS, precision aquaculture, tilapia, UAV, automation, feed.

## 1. INTRODUCCIÓN

Para comenzar a comprender el contexto en el cual se propone el uso y aplicación de los UAS, es necesario definir de manera clara qué es Acuicultura, para ello se utilizó como fuente de información a La Organización para la Agricultura y la Alimentación (FAO), la cual es una agencia especializada de las Naciones Unidas (ONU), con 195 miembros - 194 países y la Unión Europea. La FAO trabaja en más de 130 países en todo el mundo con el objetivo de lograr la seguridad alimentaria para todos y asegurar que las personas tengan acceso regular a suficientes alimentos de alta calidad para llevar una vida activa y saludable; La FAO cuenta con una gran fuente de documentos técnicos de estudios y análisis relacionados a la acuicultura y su desarrollo a través de la historia, todos estos documentos son de acceso público en su portal en la web (FAO, 2022).

**Acuicultura:** El cultivo de organismos acuáticos, es decir, de peces, moluscos, crustáceos y plantas acuáticas. El cultivo supone alguna forma de intervención en el proceso de cría para aumentar la producción como, por ejemplo, el almacenamiento periódico, la alimentación, la protección frente a los depredadores, etc. El cultivo también conlleva la propiedad individual o empresarial de la población que se cultiva y la planificación, el desarrollo y la utilización de sistemas, emplazamientos, instalaciones y prácticas de la acuicultura, así como la producción y el transporte (FAO, 2022).

La Figura 1 presenta las instalaciones en el mar o en lagos donde se presenta la acuicultura.

**Figura 1. Acuicultura de acuerdo con la FAO**



Fuente: Fotografía de FAO. 2019. FAO Aquaculture Newsletter. No. 60 (August). Rome.

## 2. ANTECEDENTES

En Colombia el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR), establece a la Dirección de Cadenas Pecuarias, Pesqueras y Acuícolas para cumplir las funciones dirigentes de la industria acuícola, entre las principales funciones: Diseñar y evaluar las políticas, planes, programas y proyectos para el fortalecimiento de las cadenas pecuarias, pesqueras y acuícolas en los temas relacionados con la producción, la asistencia técnica, la comercialización, la asociatividad, las alianzas productivas, la formalización empresarial y laboral, la infraestructura productiva, la inserción en los mercados internacionales y la generación de valor agregado en los productos agropecuarios (MIN AGRICULTURA COLOMBIA, 2022)<sup>1</sup>. Además el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA)<sup>2</sup>, tiene por objeto contribuir al desarrollo sostenido del sector agropecuario, pesquero y acuícola, mediante la prevención, vigilancia y control de los riesgos sanitarios, biológicos y químicos para las especies animales y vegetales, la investigación aplicada y la administración, investigación y ordenamiento de los recursos pesqueros y acuícolas, con el fin de proteger la salud de las personas, los animales y las plantas y asegurar las condiciones del comercio. (DECRETO 4765, 2008)

En el año 2011 y bajo el DECRETO 4181 DE 2011 se crea la Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca (AUNAP) cuyo objetivo es ejercer la autoridad pesquera y acuícola de Colombia, para lo cual adelanta los procesos de planificación, investigación, ordenamiento, fomento, regulación, registro, información, inspección, vigilancia y control de las actividades de pesca y acuicultura, aplicando las sanciones a que haya lugar, dentro de una política de fomento y desarrollo sostenible de estos recursos; reemplazando las funciones anteriormente encargadas (DECRETO 4181, 2011) al Instituto Colombiano de Desarrollo Rural (INCODER) .

---

<sup>1</sup> Disponible en: <https://www.minagricultura.gov.co/paginas/default.aspx>

<sup>2</sup> Disponible en: <https://www.ica.gov.co/>

Con el fin de aportar al crecimiento y desarrollo sostenible del sector, la AUNAP trabaja de la mano con el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, el Ministerio de Relaciones Exteriores y la Agencia Presidencial para la Cooperación Internacional – APC, La AUNAP<sup>3</sup> ha suscrito memorandos de entendimiento con países como Panamá y Ecuador y adelanta acciones para ser parte del Acuerdo Medidas Estado Rector del Puerto (AMERP) liderado por la FAO.

Por su parte, la Organización para la Alimentación y la Agricultura lidera el esfuerzo internacional para poner fin al hambre. Cuyo objetivo es lograr la seguridad alimentaria para todos, y al mismo tiempo garantizar el acceso regular a alimentos suficientes y de buena calidad para llevar una vida activa y sana. En ese orden de ideas, el estado Colombiano es admitido como país miembro de las NACIONES UNIDAS el 05 de noviembre del año 1945; por lo cual al ser un estado miembro comparte junto con los demás estados los objetivos, e intenciones por las cuales fue fundada, entre estas intenciones sus metas, y por ello la organización FAO busca intervenir la meta mundial de acabar con el hambre en el mundo, para lograr cumplir con sus metas, la FAO, dentro de su organigrama cuenta con la división de Pesca y Acuicultura (NFI), se definen a través de su perspectiva y cometido:

**Perspectiva:** Un mundo en el que la utilización responsable y sostenible de los recursos pesqueros y acuícolas hagan una contribución apreciable al bienestar humano, la seguridad alimentaria y la reducción de la pobreza.

**Cometido:** Fortalecer la gobernanza mundial y las capacidades de gestión y técnicas de los miembros, así como conducir una creación de consenso hacia una conservación y utilización mejoradas de los recursos acuáticos.

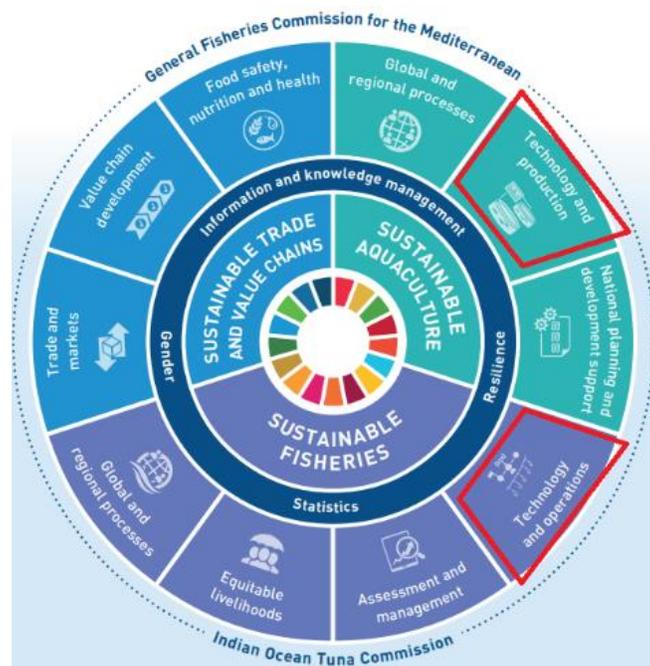
La división de Pesca y Acuicultura de la FAO establece el mapa de ruta como se observa en la Figura 2 con un conjunto de tres partes fundamentales a considerar para el desarrollo sostenible en el futuro: Comercio sostenible y cadenas de valor, acuicultura sostenible y pescadores sostenibles.

---

<sup>3</sup> Disponible en: <https://www.aunap.gov.co/>

Estos dos últimos campos es donde se abarcaría la aplicación de los drones en la industria acuícola, ya que es en estos campos donde los miembros de la FAO trabajan para construir redes de conocimientos sobre acuicultura, promover inversiones, desarrollar **y adaptar herramientas y tecnologías de acuicultura sostenible**, utilizar eficientemente los recursos y buenas prácticas y sistemas de cultivo, y desarrollar la capacidad para facilitar la contribución de la acuicultura al desarrollo sostenible. (Tecnologías de Producción y Tecnologías de Operación). Para lo cual corresponde a Colombia la Comisión de Pesca en Pequeña Escala, Artesanal y Acuicultura de América Latina y el Caribe (**COPPESAALC**<sup>4</sup>).

**Figura 2. MAPA NFI- FAO**



Fuente: Adaptado de FAO Fisheries and Aquaculture Division, pág 12,2022.

<sup>4</sup> Disponible en: <https://www.fao.org/3/ca5450es/ca5450es.pdf>

### **3. METODOLOGÍA**

El proceso investigativo implementado en el desarrollo de este documento fue basado en el enfoque de la investigación de diseño exploratorio secuencial – DEPLOX. (Sampieri, 2014) el cual corresponde a lo contemplado como investigación mixta (la combinación y complementación de la investigación cualitativa y la investigación cuantitativa).

El método elegido fue el adecuado ya que al mezclar la investigación cualitativa y posteriormente la cuantitativa se puede promover la credibilidad y viabilidad de la aplicación del modelo de operación; en general se refleja un mayor peso de datos cualitativos sobre los cuantitativos, los cualitativos se expresan en el contenido de los antecedentes, los datos de información recolectada al inicio de la investigación para la comprensión del proceso de cultivo en conjunto y todas sus implicaciones y entorno de operación, luego de presentar el modelo de operación fue necesario un análisis cuantitativo de los requerimientos necesarios que debe cumplir la aeronave no tripulada para cumplir con la misión de manera segura y satisfactoria. De esta forma se logra un análisis final sobre la viabilidad de la implementación de los UAS en la acuicultura

## 4. CASO COLOMBIA

Colombia cuenta con el 5% de los recursos hídricos mundiales, y es uno de los países con mayor riqueza de agua del planeta. El 44 % del territorio es agua salada, distribuida en el Mar Caribe y el Océano Pacífico. En el resto de territorio se cuenta con cerca de 1800 lagunas y embalses; 5.300.000 hectáreas de sabanas y selvas inundables (Orinoquía y Amazonía) y 5.600.000 hectáreas de ciénagas principalmente en Magdalena y Bolívar. Además, en Colombia se cuenta con aproximadamente 3.500 especies de peces: 1.494 especies de agua dulce y 2.000 especies marinas, lo que equivale al 25% de todas las especies del planeta (AUNAP-MINAGRUCULTURA, 2021). La Tabla 1 presenta una base de datos de la FAO donde se puede observar la producción acuícola de tilapia en América Latina y el Caribe, en la cual se puede determinar la riqueza de Colombia en este campo.

**Tabla 1. Producción acuícola de tilapia en América Latina y el Caribe**

Pais	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Brasil	24 062	27 104	32 459	35 830	42 003	62 558
Colombia	17 665	19 842	22 870	22 500	23 000	23 403
Costa Rica	5 398	6 588	8 100	8 500	13 190	14 890
Ecuador	1 730	4 400	9 201	5 159	6 903	9 727
México	5 398	7 023	6 726	8 845	7 271	7 271
Honduras	506	792	927	1 244	2 000	3 508
Jamaica	3 360	4 100	4 500	4 500	6 000	2 513
Guatemala	1 570	2 832	1 888	2 000	2 000	2 000
Rep. Dominicana	446	445	994	612	766	766
El Salvador	277	139	56	29	405	654
Cuba	540	1 060	730	480	500	650
Guatemala		428	392	415	415	415
Guyana	180	366	366	366	366	366
Perú	85	60	47	225	121	112
Venezuela	2 010	2 320	970	1 250	560	108
Panamá	55	634	900	1 181	500	95
Otros	100	152	263	202	104	56
<b>Total</b>	<b>63 382</b>	<b>78 285</b>	<b>91 389</b>	<b>93 338</b>	<b>106 104</b>	<b>129 092</b>

Fuente: Adaptado de FAO Fishtat Plus Database, 2005.

En Colombia, la tilapia se produce en los grandes embalses construidos para la generación hidroeléctrica. El volumen de las jaulas oscila entre 2,7 y 45 m<sup>3</sup>, con un volumen total superior a los 13 000 m<sup>3</sup>. Los machos de sexo

revertido que se producen en criaderos en tierra se siembran en jaulas para engorde cuando pesan 30 g y son criados hasta alcanzar los 150–300 g en seis u ocho meses. Los peces se alimentan con alimentos extruidos con 24–34% de proteína cruda. Las infecciones por estreptococo han sido problemáticas, y la supervivencia es de un promedio del 65%. El rendimiento anual a densidades finales de 160–350 peces/m<sup>3</sup> es de 67–116 kg/m<sup>3</sup> (Fitzsimmons, 2000a).

#### 4.1. PRINCIPALES RECURSOS PESQUEROS DEL PAÍS

En Colombia se cultivan en su mayoría especies continentales como Tilapia, Trucha (especies domesticadas), Cachama, Bocachico, Yamú y Pirarucú, así como algunos bagres y otras especies nativas con potencial de desarrollo (AUNAP-MINAGRUCULTURA, 2021). La Figura 3 presenta la localización del cultivo de las especies en el país.

Figura 3. Infografía del cultivo de peses en el país.



Fuente: Adaptado de AUNAP, Futuros guardianes de Pesca, pág 10, 2021.

El sector de acuicultura marina se refiere al cultivo de especies donde las jaulas se encuentran

dentro del mar, la Figura 4 presenta una granja de acuicultura en el Gorguel, Cartagena – Colombia, estas pueden estar ubicadas a diferentes distancias de las costas según el tipo de especie a cultivar, para el caso colombiano se cultiva el camarón y algunos otros animales en fase experimental como pargos y meros. Es importante resaltar el termino VEDA, este se refiere a los periodos de descanso para una especie y su habitat, como medida para su conservación, en el cual se prohíbe su captura, comercialización y consumo. Para cumplir con las normas y reglamentación ejercida por la AUNAP.

**Figura 4. Granja De Acuicultura En El Gorguel, Cartagena – Colombia**



Fuente: RM, Cartagena, IPac. - 7 de mayo de 2019.

## 5. TIPOS DE PRODUCCIÓN EN ACUICULTURA

La producción acuícola puede ser implementada en una amplia diversidad de sistemas y niveles de tecnología. Por su nivel de intensificación de acuerdo con el MINISTERIO DE AGRICULTURA Y GANADERÍA (2011), puede ser:

**Producción extensiva:** La densidad de siembra (cantidad de organismos sembrados por unidad de superficie o volumen) es baja a muy baja, entre 0.1 y 0,3 organismos por m<sup>2</sup> (1 a 3 por cada 10 m<sup>2</sup>) y el manejo que recibe el agua y los peces es mínimo.

**Producción Semi-intensiva:** La densidad de siembra es superior, siendo de 2 a 4 peces/m<sup>2</sup> en estanques, La dependencia del pez por el alimento balanceado en estos sistemas es mayor, alcanzando un 80% del alimento consumido, mientras que el 20% restante es obtenida de forma natural (fertilización directa o indirecta). Estos sistemas requieren de un mayor manejo hidráulico, con la necesidad de recambiar el agua en los estanques por bombeo o gravedad, con tasas diarias o semanales, dependiendo de la especie cultivada, de entre 2 y 20% requieren de un mayor control de la calidad del agua y, en algunos casos, incluyen aireación mecánica o eléctrica. La Figura 5 presenta la vista de estanques destinados a producción Semi-intensiva.

**Figura 5. Vista de estanques destinados a producción Semi-intensiva**



Fuente: Manual de Básico de Piscicultura Paraguay, 2011.

**Producción Intensiva:** Las densidades de siembra y engorda son muy elevadas, pudiendo superar las decenas de kilos por metro cuadrado. Los peces en cultivo son dependientes en un 100% de alimento suplementario (balanceados de alto tenor proteico) y el ambiente es monitoreado y equilibrado artificialmente con aireación mecánica o eléctrica permanente y altos niveles de recambio hidráulico. El rendimiento por unidad de área o volumen es muy superior y los costos de producción son relativamente elevados. La Figura 6 presenta la vista de estanque destinado a producción Intensiva

**Figura 6. Vista de estanques destinados a producción Intensiva**



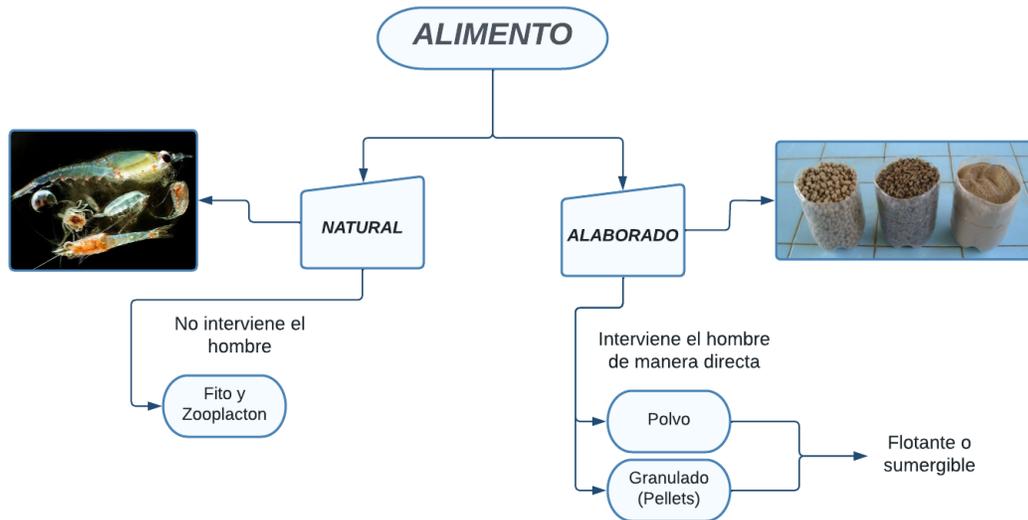
Fuente: Manual de Básico de Piscicultura Paraguay, 2011

**Producción Superintensiva:** La acuicultura se realiza en ambiente físico controlado, en densidades que superan 100 kg/m<sup>3</sup> complementado por instalaciones complejas y se trabaja con especies bien adaptadas al desarrollo en cautiverio. El nivel de manejo es exigente, control permanente de la calidad de agua con suministro de oxígeno líquido o alta aireación y la provisión de alimento es completo de acuerdo a la exigencia de la especie (MINISTERIO DE AGRICULTURA Y GANADERÍA , 2011).

## **6. ALIMENTACIÓN**

Al alimento de los peces y animales acuáticos se le denomina a toda sustancia capaz de aportar nutrientes para el organismo, y de acuerdo a su origen puede ser de dos clases generales (natural o elaborado) (MINISTERIO DE AGRICULTURA Y GANADERÍA, 2011). La Figura 7 presenta la caracterización de manera general dicho alimento:

Figura 7. Diagrama del alimento de los peses



Fuente: Autor, 2022.

## 5.1 NUTRICIÓN EN ACUICULTURA

En Colombia el rubro de alimentación constituye entre el 45-75% de los costos de producción (AUNAP, 2019). Por lo cual es el más importante factor económico del proceso productivo, lo cual hace que sea de vital importancia y cuidado la planeación de las dietas alimentarias de los cultivos, ya que podría sub-alimentarse y causarían que la población pesara menos (menores ganancias); o por el contrario sobre-alimentarse que provocaría pérdidas por desperdicio de alimentos o inclusive promover enfermedades al acumularse depósitos de alimentos en el fondo del estanque o jaula.

La Tabla 2 presenta la alimentación sugerida para Tilapia roja (*Oreochromis spp*) calculada para 1000 peces, en la cual se muestra de manera detallada las cantidades en kg de alimento que debería ser suministrado al cultivo bajo unas condiciones medioambientales ideales, ya que no solo influye la etapa de crecimiento del pez sino también la calidad del agua y temperatura de la misma.

**Tabla 2. Tabla Alimentación sugerida para Tilapia roja (*Oreochromis spp*)**

FASE DE CULTIVO	DENSIDAD Máx. (g/m <sup>2</sup> )	SEMANA	PESO		TASA ALIMENTACIÓN (%)	RACIONES POR DÍA	ALIMENTO DIARIO (Kg/día)**	ALIMENTO SEMANA (kg/semana)**
			DESDE	HASTA				
Alevinaje	250	1	1,0	2,0	9,0	10	0,14	0,945
		2	2,0	4,5	7,8	10	0,25	1,773
		3	4,5	8,0	7,5	9	0,47	3,284
		4	8,0	14	7,8	9	0,86	5,988
		5	14	20	5,6	8	0,94	6,613
		6	20	28	5,3	8	1,26	8,823
Juveniles	700	7	28	38	5,2	7	1,71	11,973
		8	38	48	4,2	7	1,80	12,597
		9	48	58	3,6	6	1,89	13,232
		10	58	68	3,3	6	2,07	14,487
		11	68	80	3,2	6	2,34	16,382
		12	80	100	3,0	6	2,70	18,898
		13	100	120	2,9	6	3,24	22,680
		14	120	140	2,9	5	3,78	26,459
Pre-Engorde	1200	15	140	160	2,6	5	3,87	27,090
		16	160	180	2,4	5	4,05	28,350
		17	180	200	2,2	5	4,23	29,610
		18	200	220	2,1	5	4,32	30,240
		19	220	245	1,9	5	4,50	31,499
		20	245	270	1,8	4	4,59	32,130
Engorde	1500	21	270	295	1,7	4	4,68	32,760
		22	295	320	1,6	4	4,77	33,390
		23	320	345	1,5	4	4,95	34,649
		24	345	370	1,5	4	5,31	37,169
		25	370	395	1,4	4	5,40	37,797
		26	395	420	1,4	4	5,67	39,690
		27	420	445	1,4	4	5,94	41,580
		28	445	470	1,4	4	6,21	43,473
		29	470	500	1,4	4	6,57	45,991
		30	500	530	1,3	4	6,84	47,879

\* Esta tabla es una guía construida a partir de condiciones medioambientales ideales para la especie, con una concentración de oxígeno disuelto >3,5 mg/L en la mañana y una temperatura del agua entre 25 a 29 °C.

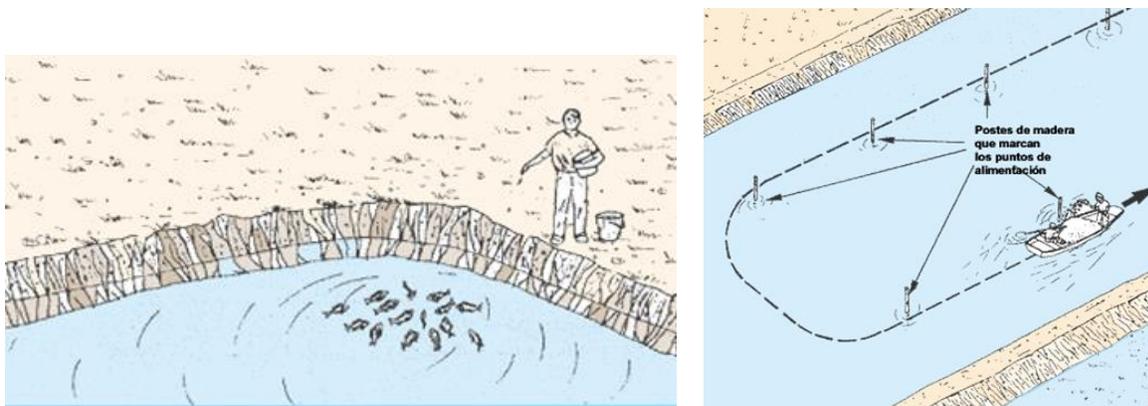
Fuente: Fundamentos de acuicultura Continental, tercera edición, AUNAP, 2019.

De la table se infiere, que a medida que el pez va adquiriendo peso y tamaño, se disminuye el porcentaje de la tasa de alimentación y el número de raciones por día, por lo cual en la etapa más temprana (alevinaje) es donde deben alimentarse con mayor frecuencia, ocho veces al día y en la etapa de engorde solo cuatro veces al día. Es por ello que el peso máximo de la ración en etapa de engorde es de aproximadamente 1.71 kg para 1000 peces.

## 6.2 SUMINISTRO DE ALIMENTO

La metodología de alimentar a los peces es variada, en producciones del tipo familiar o pequeña escala se ofrece el alimento de manera tradicional, lanzando el alimento desde un recipiente con dirección al interior del estanque o al interior de la jaula. La Figura 8 representa la alimentación manual en estanques pequeños y grandes.

**Figura 8. Representación de la Alimentación Manual estanque pequeño (izq.), Alimentación manual varios puntos estanque grande. (der.)**



Fuente: FAO<sup>5</sup>

En algunos casos de la acuicultura intensiva se desarrolla en estanques de grandes extensiones superficiales, es decir en numerosas hectáreas, uno de los métodos utilizados para realizar las tareas de alimentación de los peces es por medio del uso de tractores, o mini cargadores en los cuales se transporta la comida hacia los estanques, y en cada uno de estos, es arrojado el alimento, la cantidad varía según la especie y el tamaño actual del pez, es necesario que en los grandes estanques el suministro de comida se realice en diferentes puntos, ya que esto favorece a que para disminuir la competencia entre los peces cultivados por el alimento, dando una mayor oportunidad de crecimiento homogéneo a toda la población. Por su parte la Figura 9 presenta la alimentación manual en un estanque grande real.

<sup>5</sup> Disponible en:

[https://www.fao.org/fishery/docs/CDrom/FAO\\_Training/FAO\\_Training/General/x6709s/x6709s10.htm](https://www.fao.org/fishery/docs/CDrom/FAO_Training/FAO_Training/General/x6709s/x6709s10.htm)

**Figura 9. Alimentación manual artesanal**



Fuente: Plan Nacional para el Desarrollo de la Acuicultura Sostenible en Colombia – PlaNDAS- AUNAP, 2014.

En la acuicultura marina al igual que en la acuicultura en los estanques el trabajador realiza el lanzamiento de manera manual desde un recipiente con dirección al interior, como se presenta en la Figura 10; la diferencia radica en que utilizan lanchas o balsas para lograr alcanzar cada jaula que se encuentra ubicada en el mar.

**Figura 10. Alimentación manual artesanal en el mar.**



Fuente: Year, 2006 Region Africa Country Ghana @FAO Aquaculture photo library / M Halwart

## 7. ACUICULTURA DE PRECISIÓN

Tal como en Agricultura de precisión, la Acuicultura de Precisión implica una variedad de sensores y herramientas tecnológicas que se utilizan para obtener información sobre el entorno de la granja, tomar decisiones que optimicen la salud, el crecimiento y el rendimiento económico de los peces, y reducir el riesgo de pérdidas (Grant, 2019). Entre las herramientas más usadas están: Software de control y monitoreo del cultivo, Sensores y cámaras para medir la Biomasa, como se muestra en la Figura 11. Con estos sensores se puede determinar con mayor precisión el tamaño y ración de alimento a suministrar en cada momento, logrando así un óptimo crecimiento de la población. Por ejemplo, está la innovadora cámara de biomasa de Innovasea, que combina imágenes estereoscópicas con tecnología de inteligencia artificial dentro de una carcasa resistente. La cámara liviana y fácil de mover recopila y procesa datos y los entrega en tiempo real al usuario final.

**Figura 11. Cámara de IA avanzada**



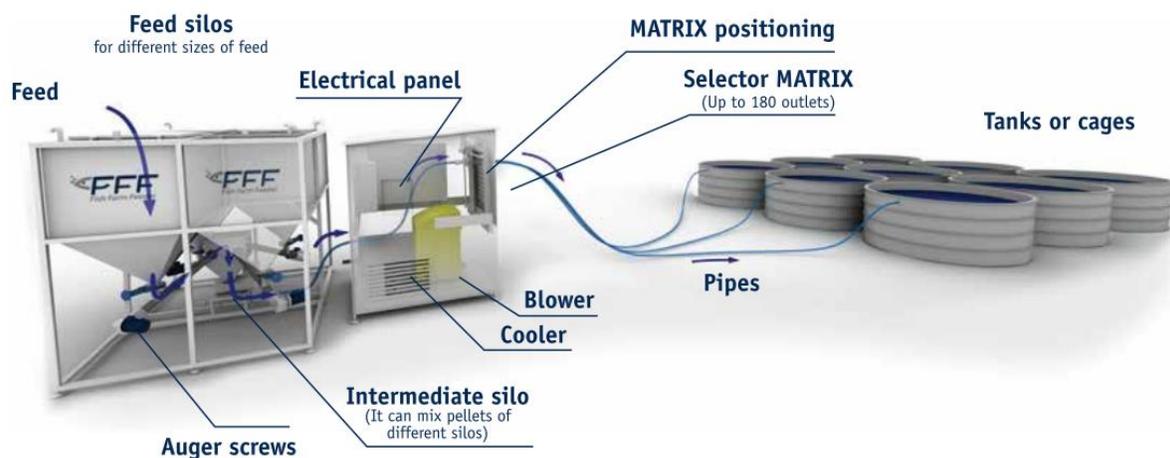
Fuente: INNOVASEA<sup>®6</sup>

<sup>6</sup> Disponible en: <https://www.innovasea.com/>

## 7.1. SISTEMAS DE ALIMENTACIÓN AUTOMATIZADOS

Para el 2022, la industria en la industria acuícola se encuentra disponible diferentes sistemas de suministro de alimento para los cultivos controlados, entre los más conocidos y comunes se encuentran los sistemas neumáticos como se muestra en la Figura 12, dependiendo de la etapa de crecimiento del pez, en estos sistemas el alimento es almacenado en silos, una serie de tornillos dosificadores sin fin empujan el alimento y este viaja al selector, el selector es un mecanismo mecánico el cual separa el alimento por el tamaño del grano, y de allí pasa a ser transportado por el interior de una tubería que se dirige al estanque o jaula, para posteriormente ser entregado por el esparcidor. Dependiendo de la complejidad del sistema puede ofrecer un control de enfriamiento del aire para evitar que altere las propiedades del alimento, la obstrucción entre otros inconvenientes como que se despedace el grano en el transporte desde el silo hasta su disposición final (Fishfarmfeeder, 2022).

**Figura 12. Sistemas Automáticos de alimentación para acuicultura**



Fuente: Fishfarmfeeder, 2022

Estos sistemas son independientes para cada etapa de crecimiento del cultivo, es decir, los sistemas de la parte superior de la imagen son para la etapa temprana de los alevines (peces más

pequeños), el siguiente sistema es para el pre-cultivo y el sistema de la parte inferior de la imagen es utilizados para los gránulos de alimento más grandes en la etapa final del engorde. Lo cual implica que, para implementar la alimentación de manera automatizada, entonces para este caso se requiere tener 3 sistemas individuales uno por cada etapa de crecimiento. Como se muestra en la Figura 13.

**Figura 13. Diferentes sistemas automáticos según la etapa de crecimiento del pez**



Fuente: Fishfarmfeeder, 2022

En países como China e India, se utilizan mecanismos de suministro automático, los cuales son programados con temporizadores para que permitan la liberación del alimento que se encuentra en el contenedor individual, como se observa en la Figura 14, sin embargo, esta operación no es totalmente automatizada, ya que se requiere que el cultivador se acerque a cada punto de suministro para abastecer de alimento el contenedor. También en el mercado de sistemas de alimentación acuícola es posible encontrar sistemas mecánicos como el Cañón de lanzamiento, el cual funciona con un motor a combustible y debe ser posicionado en un lugar específico en cada descarga, es decir que para cada estanque se requiere el desplazamiento del mismo o la adquisición de varios de estos.

**Figura 14. Sistemas Automáticos de alimentación Flotantes**



Fuente: Sagar Aquaculture- India.

## 8. PROPUESTA DE APLICACIÓN DE UAS EN LA ACUICULTURA DE PRECISIÓN

Como antecedente de esta aplicación se ha utilizado en el pasado el uso de los drones en su mayoría para el análisis de la biodiversidad marina, por ejemplo en el seguimiento de especies como tiburones y análisis de plantas acuáticas con la ayuda de las cámaras y sus grabaciones, el post-procesamiento de las imágenes para obtener mediciones de la superficie del mar; en el año 2016 se realizó una investigación la cual involucró el uso de un drone con fines relacionados a la acuicultura marina, específicamente para una granja de salmón, como se muestra en la figura 15, allí el Unmanned Aerial Vehicle (UAV) realizaba la toma de un video sobre la jaula de salmón, posteriormente el video era analizado por un algoritmo que pretendía detectar y reconocer el momento en el cual existía un salto del salmón en la superficie que generaba un movimiento brusco del agua superficial (salpicando el agua), ya que el salto de los salmones en la superficie de las jaulas es un indicador de que probablemente se presente piojo de salmón, una plaga que afecta el sano crecimiento del mismo.

**Figura 15. Uso de UAV para análisis de comportamiento de salmón.**



Figure 4. Data collection using DJI quadcopter on the fish production site.  
Image: SINTEF Fisheries and Aquaculture

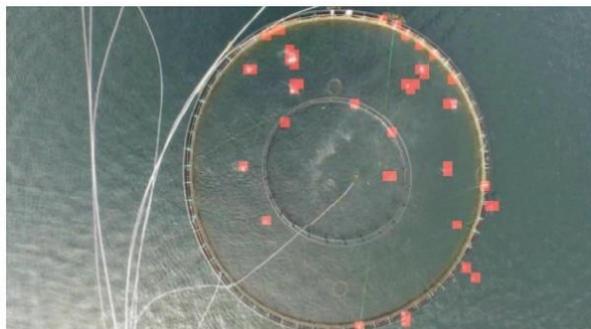


Figure 6. One frame of the video, with marked splashes after classification

Fuente: Jovanovi, V., Risojevi, V., Babi, Z., Svendsen, E., & Stahl, A. (2016 May)

Como herramienta tecnológica para la gestión de la alimentación para la acuicultura, este documento propone a los drones como medio de suministro de alimentación para los cultivos en la acuicultura, siendo una herramienta más en la acuicultura de precisión. El uso de los drones en el

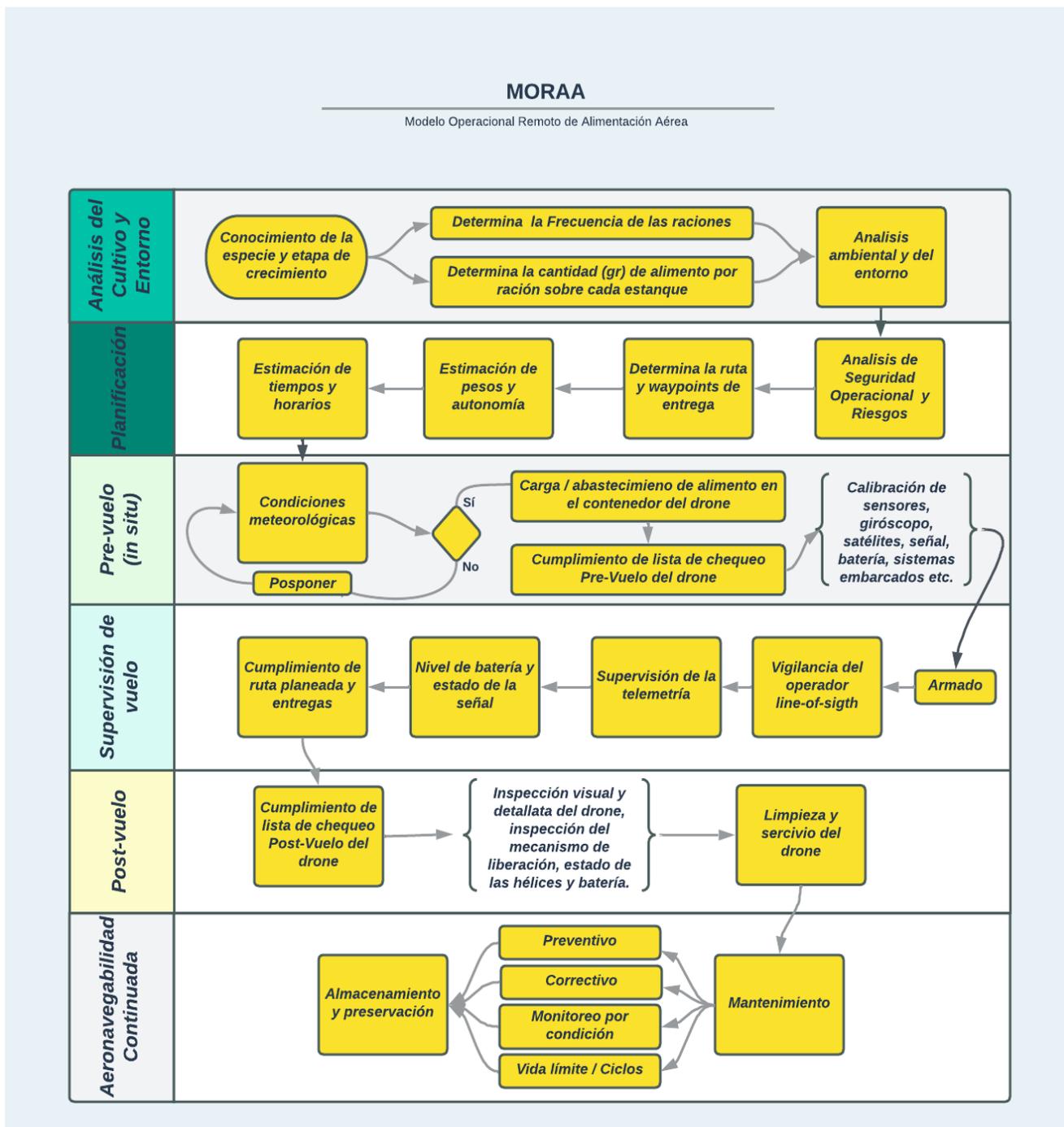
proceso de alimentación de los peces podría aplicarse en los siguientes modelos de operación: el primero es la aplicación en los estanques de acuicultura intensiva, y el segundo es la aplicación de los drones en la acuicultura marina, ambos modelos son planteados para el caso colombiano.

## **8.1 CONCEPTO DE OPERACIÓN (MORAA)**

Debido a la necesidad de que los peces o cultivos acuícolas requieren del suministro de alimentación diaria, con una frecuencia específica dependiendo de la etapa de crecimiento de los animales y además una diferente cantidad específica en gramos de alimento en cada ración, es allí donde el drone podría suplir la labor de dicho suministro; debido a que el drone podría entregar vía aérea el alimento en la cantidad y lugar preciso sobre el cultivo, es decir, sobre el la jaula o lugar donde se disponga para la alimentación dentro del estanque, esta entrega de alimento se realizará teniendo previo conocimiento de las condiciones que requieren cada cultivo.

El modelo de operación remota de alimentación aérea (MORAA) consiste en planear y ejecutar la entrega de alimentos granulados vía aérea sobre los cultivos por medio del uso de un drone el cual en su contenedor transporta el alimento desde un punto de abastecimiento hasta el destino sobre cada uno de los estanques o jaulas donde se encuentran los animales en espera del suministro alimentario, como se menciona anteriormente, esta modelo de operación puede aplicarse en dos entornos, acuicultura intensiva ( estanques en la tierra o embalses) o en la acuicultura marina (en el mar). La Figura 16 presenta la propuesta de metodología con una percepción general del Modelo de Operación Remota de Alimentación Aérea (MORAA).

Figura 16. Modelo Operacional Remoto de Alimentación Aérea



Fuente: Autor, 2022.

El modelo de operación anteriormente presentado en el diagrama, propone una ruta o camino de ejecución, dividida en seis (6) etapas: Análisis del cultivo y entorno, Planificación, Pre-Vuelo (in situ), Supervisión del Vuelo, Post-Vuelo y Aeronavegabilidad Continuada.

En cada uno de estos pasos se enfatiza tener presente siempre las precauciones necesarias para la seguridad operacional de la misión y con el desarrollo sostenible y responsable de la acuicultura. Dependiendo de la complejidad de los cultivos y el peso del alimento, pueden ser planeados vuelos únicos para realizar las entregas o pueden llegar a ser varios vuelos si se requieren en el caso de que la autonomía del dron se vea limitada para cumplir con toda la entrega precisa de alimento.

## **7.2 Ventajas de la aplicación UAS – MORAA**

Las posibles ventajas del uso de los drones como medio de transporte para la alimentación de los cultivos acuícolas sobre los métodos tradicionales y actuales son:

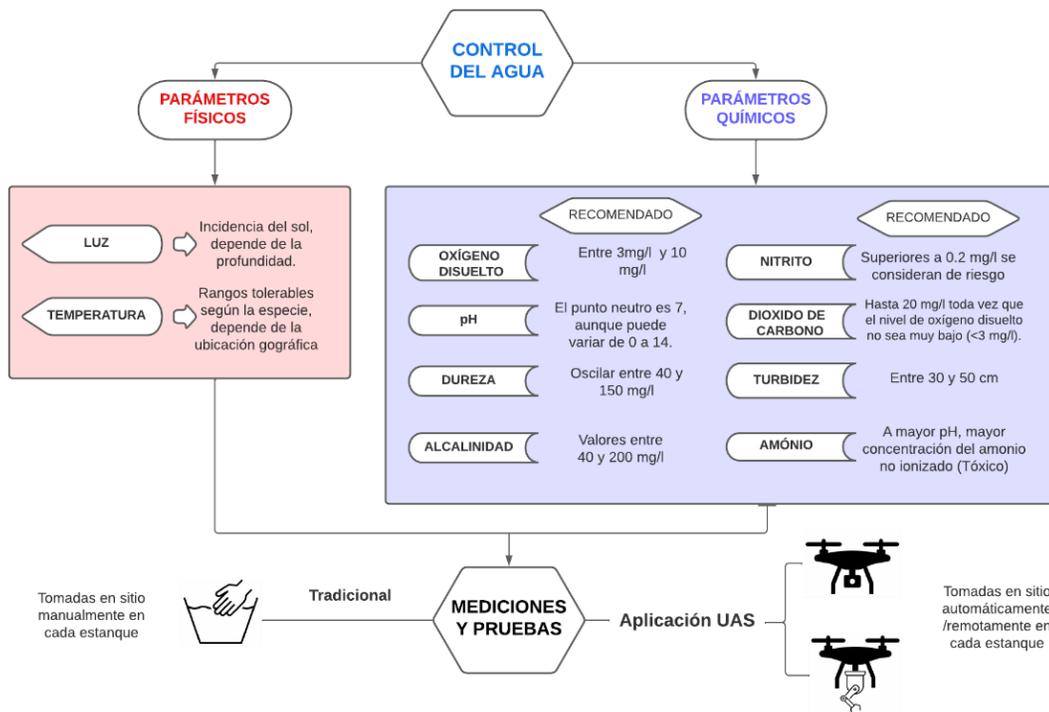
- Al ser una aeronave no tripulada se reduce la posibilidad de que el ser humano se vea involucrado en algún riesgo de lesión al momento de alimentar los cultivos, por caída al resbalarse cerca del estanque o para el caso de la acuicultura marina se evitaría el riesgo de que el trabajador pueda sufrir o caer al mar o al embalse y presentarse una situación de ahogamiento;
- Se obtendría una eficiencia en el tiempo dedicado a la tarea del suministro de alimentos sobre los cultivos, con ello podría dedicarse trabajo a otras tareas o la posibilidad de cultivar en más jaulas o estanques (aumento en la productividad);
- Se tendría un mayor control sobre las cantidades de alimento suministrado, evitando el desperdicio de este, en el camino, como suele suceder al ser transportado en camiones, valdes, o lanchas;
- En costo de adquisición es menor al de un sistema robusto de alimentación automatizado como el que ofrece el mercado, además del mantenimiento especializado del sistema;
- Se evitaría el daño de los gránulos de alimento ya que en el contenedor del dron no sufrirían mayores vibraciones que puedan causar que el alimento se desmorone, situación

que sí se presenta en los sistemas de alimentación automáticos que son transportados por las tuberías neumáticas y el alimento se ve afectado porque en algunos casos se despedaza, lo cual causa que termine no siendo ingerido por los peces y termine como desperdicio en el fondo del estanque o jaula;

- Para el caso de la acuicultura mariana, existiría un ahorro en combustible fósil el cual requiere la lancha para realizar los recorridos de alimentación desde la costa hacia las jaulas, el dron al usar energía eléctrica en sus baterías para su operación promueve una energía más amigable con el medio ambiente;
- La planificación de los planes de vuelo para las rutas de alimentación puede ser integrada a las plataformas de control y seguimiento que actualmente ofrece la acuicultura de precisión, como herramienta que promueve la eficiencia y control de los cultivos;
- Al liberarse los granos de manera precisa y uniforme puede ayudar a la alimentación equitativa de la población de peces y así el tamaño de crecimiento y engorde de los peces es homogéneo, evitando que unos peces entren en competencia y coman más que otros;
- Facilita la labor de distribución de los trabajadores, salvo en condiciones de mal tiempo que imposibiliten que el dron pueda realizar el vuelo de manera segura, en tal caso el suministro debe realizarse tal como se hacía en el pasado.

Por su parte, el control de la calidad del agua es un parámetro fundamental en el desarrollo de la acuicultura, La Figura 17 presenta las características principales a ser consideradas en el control del agua.

**Figura 17. Control del agua**



Fuente: Autor, 2022

Las mediciones de rutina en un centro piscícola incluyen principalmente la medida de oxígeno disuelto, temperatura y transparencia, siendo ocasionalmente registrado también pH. El resto de los indicadores mencionados, generalmente se analiza una vez por semana, y solamente en casos especiales se intensifican las mediciones. Esta toma de muestras y mediciones de la calidad del agua podría ser recolectadas de manera planifica con el dron en cada uno de los estanques, ya que actualmente se cuenta con medidores multiparámetro instalados en el UAV, como se observa en la Figura 18, y de este modo recolectar la información con mayor frecuencia y en menor tiempo.

**Figura 18. Equipos Multiparámetro usados en acuicultura.**



Fuente: Fundamentos de Acuicultura Continental, Tercera Edición-Tomo I, Bogotá 2014

Los registros obtenidos permiten visualizar el comportamiento de cada parámetro en el día o la semana y ayudan a predecir probables ocurrencias de niveles muy elevados o perjudiciales. Este mecanismo de control periódico es fundamental para prevenir situaciones que podrían producir daños severos en los organismos y consecuentemente en la producción (MINISTERIO DE AGRICULTURA Y GANADERÍA, 2011).

Otra aplicación relacionada al uso del drone en la acuicultura de precisión es en la acuicultura terrestre, en los estanques, allí el estanque, después de la cosecha y vaciado, contiene componentes biológicos no deseados (bacterias, hongos, insectos, etc.) que requieren ser eliminados para iniciar un nuevo ciclo a este proceso se le denomina **Desinfección**. En la práctica, la utilización de cal viva (100 a 200 g/m<sup>2</sup>) es lo más útil y económico, como se observa en la Figura 19. Una alternativa efectiva es el secado total de diques y fondo, por exposición al sol por lo menos por una semana y la remoción de residuos (lodo orgánico) del fondo. Además, la cal ayuda a manera de corregir el pH del agua, esto posteriormente de haberse realizado una prueba para determinar el nivel de dureza y alcalinidad del agua.

**Figura 19. Momento de aplicación de cal en un estanque.**



Fuente: Manual de Básico de Piscicultura Paraguay -

El drone puede realizar esta tarea siendo controlado por el piloto o previamente programado para realizar la misión en la cual esparce la cal sobre el fondo del estanque de manera uniforme y en menor tiempo que de manera manual por un trabajador.

## 8 Análisis de implementación de operación.

Este capítulo tiene por objeto presentar el posible sistema no tripulado y su implementación para la operación dentro del modelo MORAA.

- **REQUERIMIENTOS DE MISIÓN UAS**

El sistema no tripulado debe tener una misión, sus parámetros se contemplan por medio de requerimientos a ser cumplidos, estos se determinan en la Tabla 4.

**Tabla 4. Requerimientos de la misión.**

	Valor	Unidad
Rango	1	km
Área de Mapeo	67500	m <sup>2</sup>
Techo operacional	10 m	m
Velocidad máxima	10	m/s
Velocidad de crucero	7	m/s
Distancia de despegue	100	m
Autonomía	15	min
Carga paga	10	kg

Fuente: Autor, 2022.

- **DEFINICIÓN DE LAS MISIÓN Y EL PERFIL DE MISIÓN**

Suministro de alimento para cultivo intensivo de peces (acuicultura) con UAS en Colombia en la piscícola monterrey Ltda. La Figura 20 presenta el perfil de la misión en google maps.

**Figura 20. Requerimientos de la misión.**



Fuente: Google Maps, 2022.

**Home:** Abastece de alimento el UAS.

**Asciende:** VTOL

**Crucero:** Recorre los waypoints indicados liberando el alimento sobre los peces.

**Descenso:** VTOL

**Emergencia:** Retorna a Home.

- **UAS PROPUESTOS**

Se propone la utilización de tres drones, se presentan en la Figura 21.

**Figura 21. Drones para cumplir la misión**

**XAG P40 (5.2 GAL) SPRAYING + SEEDING DRONE**



<b>Peso Máximo</b>	49.1 kg
<b>Baterías</b>	B13960S
<b>Altitud</b>	4,000 m
<b>Autonomía</b>	15 min
<b>Velocidad Crucero</b>	10 m/s
<b>Despegue</b>	VTOL
<b>Aterrizaje</b>	VTOL
<b>Otros</b>	IP67

**G630 HEXACOPTER EFOER TECH FRAME**



**XAG GRANULE SPREADING SYSTEM**



Fuente:XAG, 2022.

- **ESTIMACIÓN DE PESO Y RENDIMIENTO**

Se presenta en la Tabla 5 la estimación del peso total para cumplir la misión.

**Tabla 5. Requerimientos de la misión.**

	Peso	Cantidad abordo UAS	Total	
Bateria Modelo B13860S Lipo, 48.1 V, 18000mAh (865.8Wh)	6	1	6	
Peso combustible o Baterías			6	Kg
Sistema de esparcido	5,5	1	5,5	Kg
Alimento según cantidad de peces y tamaño	5	1	5	Kg
Peso carga paga			10,5	Kg
Peso motores	0,5	4	2	Kg
ESC	0,15	4	0,6	Kg
Peso estructura	13,2	1	13,2	Kg
hélices	0,162	8	1,296	Kg
Control	0,7	1	0,7	Kg
Sensores y camaras	0,3	1	0,3	Kg
Peso vacío			18,096	Kg
PESO TOTAL	34,596	Kg		

Fuente: Autor, 2022.

El diseño contempla un cobertor de todos los equipos abordo el cual ofrece un Clasificación IP65, se puede enjuagar directamente después de la operación. Esto protege de la corrosión externa, prolonga su vida útil y reduce el riesgo de exposición a residuos de alimentos lo cual es apto para la seguridad de la misión, estas piezas que cubren el UAS probablemente pueden ser reemplazadas mediante una impresión 3D, previo de un escaneo 3D a las originales para su posterior fabricación

- **PLAN DE VUELO**

La programación del vuelo y su misión en conjunto fue simulada en el programa Mission Planner, y fue concebido siguiendo las etapas contempladas en el modelo MORAA. Se colocaron unos *Waypoints* definidos para que el dron realice la liberación del alimento de manera precisa y remota. Se presentan las Figuras 22 y 23 con dos diferentes planes de vuelo.

**Figura 22. Misión de reconocimiento, análisis de población de peces.**



Fuente: Autor, Mission Planner, 2022.

**Figura 23. Suministro de alimento, 2 descargas por estanque**



Fuente: Autor, Mission Planner, 2022.

## 9 CONCLUSIONES

Colombia al ser un país con tanta riqueza hídrica en donde se tienen muchas plantas y animales como moluscos y crustáceos, y otras especies marinas tanto de agua dulce como de agua salada, nos convierte en un país con una alta diversidad de recursos pesqueros, lo que significa que el país tiene un gran potencial para aprovecharlos responsablemente, una de estas maneras de aprovecharlo es por medio de la acuicultura, en estanques controlados y/o en nuestros mares, la tecnología de los drones como recurso físico para ayudar a el conjunto y desarrollo de la acuicultura de precisión es una posible ventaja para por lo pronto los grandes cultivos, ya que al ser utilizados como medio de transporte y suministro de sus alimentos de manera precisa, ordenada y controlada, entonces resulta ser una herramienta de apoyo al desarrollo de la acuicultura de precisión la cual busca el beneficio en su producción final, además de tener un impacto vinculante en los trabajadores que actualmente desempeñan dichas labores, promoviendo el conocimiento y experiencia en este tipo de aeronaves remotamente tripuladas. Ofreciendo una fuente de alimento y de ingresos para miles de colombianos.

Este modelo de operación MORAA puede ser modificado según la necesidad de la misión y tipo del entorno donde se desee realizar. La viabilidad de la aplicación de los drones en la acuicultura para la alimentación remota, puede ser favorable en niveles de producción de acuicultura intensiva y superior.

## REFERENCIAS

- AUNAP. (2019). *Fundamentos de acuicultura continental* (Tercera ed.). Bogotá D.C.
- AUNAP-MINAGRUCULTURA. (2021). *Futuros guardianes de Pesca*.
- EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA DE COLOMBIA. (2011, 03 de noviembre). *DECRETO 4181*. Obtenido de <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=44640>
- FAO. (4 de Octubre de 2022). *Food and Agriculture Organization of the United Nations*. Obtenido de <https://www.fao.org/fishery/es/aquaculture>
- Grant, F. O. (2019). Precision Aquaculture. *IEEE Internet of Things Magazine*, 2. doi:10.1109/IOTM.0001.1900033
- MIN AGRICULTURA COLOMBIA. (6 de Octubre de 2022). *Ministerio de Agricultura y desarrollo rural*. Obtenido de <https://www.minagricultura.gov.co/MINISTERIO/DIRECCIONES/PAGINAS/DIRECCION-DE-CADENAS-PECUARIAS.ASPX>
- MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO. (2008 18 de diciembre 18). *DECRETO 4765*. Obtenido de <https://www.ica.gov.co/files/pdf/decreto-4765-de-2008.aspx>
- MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO. (2008, 18 de diciembre). *DECRETO 4765*. Obtenido de <https://www.ica.gov.co/files/pdf/decreto-4765-de-2008.aspx>
- MINISTERIO DE AGRICULTURA Y GANADERÍA . (2011). *Manual Básico de Piscicultura para Paraguay*.
- Jovanovi, V., Risojevi, V., Babi, Z., Svendsen, E., & Stahl, A.(2016 May). Splash detection in surveillance videos of offshore fish production plants. In Systems, signals and image processing (IWSSIP), 2016 international conference on (pp. 1e4). IEEE.
- FishFarmFeeder. Sistemas de Alimentación para Acuicultura Automáticos. (2022, 16 septiembre).
- Fish Farm Feeder. <https://www.fishfarmfeeder.com/es/>
- XAG P40 Agricultural Drone. (s. f.). <https://www.xa.com/en/p40>
-