

Dispositivo portátil para monitoreo de calidad del agua en granjas acuícolas de camarón



Colaboración

Jesús Alberto Verduzco Ramírez; Patricia Elizabeth Figueroa Millán; Juan de Dios Barajas Corona; Elena Elsa Bricio Barrios; J Reyes Benavides Delgado, Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Colima

RESUMEN: El desarrollo intensivo de la acuicultura en México se debe principalmente a la producción de camarón, siendo éste una de las principales fuentes de ingreso. Las ganancias de su producción dependen principalmente de la calidad del agua del estanque, manteniendo especialmente en niveles óptimos los parámetros de oxígeno disuelto, salinidad, nivel de pH y temperatura. Entre los principales problemas para maximizar estas ganancias está la respuesta retardada en el cuidado de la calidad del agua. En este trabajo de investigación, aún en proceso, se describe el diseño y desarrollo de un dispositivo portátil para el monitoreo de la calidad del agua, acoplado a un sistema de alarma en caso que los parámetros de calidad estén fuera de rango, utilizando herramientas y tecnologías abiertas para su escalabilidad e integración futura con redes de sensores y aplicado en el monitoreo los parámetros de oxígeno disuelto, salinidad, pH y temperatura en una granja de acuicultura de camarón en el municipio de Manzanillo. Como resultado, éste permite monitorear y mantener las condiciones adecuadas de agua, proporcionando información relevante y oportuna.

PALABRAS CLAVE: Acuicultura, calidad del agua, dispositivo de monitoreo, sensores.

ABSTRACT: The development of aquaculture in Mexico is principally due to the production of shrimp, which is one of the major sources of income. The gains of shrimp production depend mainly on water quality of the pond, keeping the parameters of dissolved oxygen, salinity, pH level and temperature at optimum levels. Among the main problems to maximize these gains is the delayed response in the care of water quality. In this research work, still in progress, we describe the design and development of a portable device for water quality monitoring, using open tools and technologies for its scalability and future integration with a sensor network. It is implemented specifically to monitor parameters of dissolved oxygen, salinity, pH and temperature in a shrimp aquaculture farm in the municipality of Manzanillo. As a result, it allows to monitor and maintain the suitable water conditions, providing relevant and timely information

KEYWORDS: Aquaculture, monitoring device, water quality, sensors.

INTRODUCCIÓN

La acuicultura es el cultivo de organismos acuáticos que implica intervenciones en el proceso de criar para aumentar la producción, en este ámbito se incluye el cultivo de camarón, que en el 2018 alcanzó cerca de 4 millones de toneladas con un incremento del 3 al 5% con respecto al 2017 en la producción nacional [1]. Actualmente, México posee 12,555 km² de superficie en la costa para la siembra, crianza y cosecha de camarón [2]. Por otro lado, la FAO [3] reportó que el clima de regiones como Sonora, Sinaloa, Jalisco, Colima y Veracruz son consideradas como ideales para la crianza y cultivo de camarón.

En específico, Colima, ocupa el quinto lugar en la producción de camarón en granjas acuícola una producción de 40 mil toneladas de camarón en el 2018 [4], estas empresas están distribuidas en 9 de los 10 municipios del estado con un total de 17 empresas camaroneras. Aunque, es posible incrementar la producción del

estado, los productores de camarón han reportado que la rentabilidad de este oficio está comprometida por la presencia de bacterias en los tanques de crecimiento, las cuales puede alcanzar la mortandad de hasta el 80% su población [5]. Mientras que, la producción sobreviviente alcanza una talla y peso menor respecto a una cosecha sana [6].

Por otro lado, se ha demostrado que el monitoreo continuo de los parámetros físicos, químicos y biológicos del agua del estanque ayudan no sólo a predecir y controlar las condiciones negativas de la acuicultura, sino también a evitar el colapso del proceso de producción. El monitoreo de parámetros como: oxígeno disuelto, temperatura, pH en el agua es vital para mantener las condiciones adecuadas y evitar situaciones no deseables que pueda llevar a un colapso del sistema acuícola [7].

Si bien, se puede monitorear parámetros fisicoquímicos del agua en las plantas acuícolas, en la literatura abierta se ha reportado que algunos parámetros son fundamentales para garantizar la sobrevivencia y cosecha del camarón. Por ejemplo: la temperatura, salinidad, oxígeno disuelto y pH. La temperatura tiene un efecto en los procesos químicos y biológicos en un estanque de cultivo, controlando la solubilidad de los gases en el agua, la velocidad de reacción química y la toxicidad del amonio [8]. Por otro lado, la concentración mínima de oxígeno para mantener una tasa aceptable de supervivencia varía con el tiempo de exposición, en bajas concentraciones los camarones son más susceptibles a enfermedades y bajas tasas de alimentación y crecimiento [9]. La salinidad, en altas concentraciones reduce los niveles de oxígeno disuelto y obliga a los organismos a tratar de regular ésta, implicando un gasto energético que puede verse reflejado en una menor tasa de crecimiento. Además, cuando el pH tiene valores bajos o elevados éste causa estrés en los organismos, disminuyendo la reproducción [4]. Para una buena salud del camarón los valores óptimos de oxígeno disuelto son entre 4 - 5 ppm, un pH entre 7.5 - 8.5 y una temperatura ideal entre 25 - 31°C [10].

Tradicionalmente, el monitoreo diario de los parámetros de calidad del agua en granjas acuícolas se realizaba a través de una muestra del agua del estanque para su análisis en laboratorio. Posteriormente, se incluyó el uso de oxímetros digitales, permitiendo medir los niveles de oxígeno disuelto y temperatura; sin embargo, la desventaja principal de su uso es el costo de adquisición del dispositivo portátil, mantenimiento y soporte, así como los potenciales errores humanos al efectuar el registro manual de los parámetros muestreados con este dispositivo. Para resolver esto, el uso de dispositivos basados en tecnologías abiertas posibilita la reducción del costo de adquisición, mantenimiento, soporte y muestreo de múltiples parámetros, así como su posible integración con redes inalámbricas de sensores,

solventando las desventajas presentadas a través de la medición con oxímetros digitales.

Trabajos similares han sido desarrollados para el monitoreo de la calidad del agua en distintos contextos. En [11] un dispositivo multiparámetro para el monitoreo de la calidad del agua en la producción de pescado es descrito, el cual se diseñó para medir el oxígeno disuelto, temperatura, pH y salinidad. Sin embargo, al igual que en trabajos similares como el de [12] la portabilidad está limitada, porque los sensores deben estar conectados a través del puerto serial a un visualizador de datos que, en muchos casos son computadoras. En [13] se muestra un dispositivo para el monitoreo de la calidad del agua para el cultivo de peces de anguila, diseñado e implementado utilizando una Raspberry Pi en conjunto con un sensor de oxígeno disuelto, temperatura y acidez, así como un actuador para controlar el efecto de la aireación. Los datos muestreados se presentan en un programa de visualización local en una PC con portabilidad limitada. En [14] se muestra un sistema de monitoreo y control de calidad del agua para cultivos de camarón, desarrollado para medir el oxígeno disuelto, pH, salinidad y temperatura. Este sistema está implementado en un sistema embebido constituido por un mini-pc, un controlador y un módulo SIM900 para notificar al acuicultor a través de mensajes SMS sobre algún cambio relevante en alguno de los parámetros muestreados.

Recientemente, Olivo [15] reportó el diseño e incorporación de un sistema de monitoreo en tiempo real de los parámetros de calidad de agua como pH, temperatura, conductividad de eléctrica y oxígeno disuelto, a través de una estructura fija anclada en el interior de los tanques de crecimiento de camarón. Si bien, su propuesta ha mostrado alto desempeño, este sistema está limitado al sensado, coordinación y publicación de los parámetros de calidad en solo un estanque, tornado un problema logístico y económico la incorporación de otros sistemas fijos para disponer de las mediciones en todos los tanques de crecimiento que disponga la granja acuícola.

Por lo tanto, en este trabajo muestra una propuesta exploratoria basada en el desarrollo de un dispositivo portátil multiparámetro para el monitoreo de oxígeno disuelto, salinidad, pH y temperatura del agua en granjas acuícolas de camarón. Este dispositivo ha sido diseñado y desarrollado utilizando tecnologías abiertas y de uso libre y el cual, además, permite la notificación de los parámetros muestreados a un dispositivo móvil través del servicio de mensajes cortos (SMS) mediante un módulo GSM.

El desempeño del prototipo se realizó en las empresa productora y comercializadora agrícola, ganadera y acuícola Hueso S.P.R. ubicada en el municipio de Manzanillo, empresa que permitió el desarrollo e incorpora-

ción del sistema fijo para el monitoreo de los parámetros de calidad reportado por Olivo [15].

MATERIAL Y MÉTODOS

El diseño e implementación del dispositivo móvil para el monitoreo de la calidad del agua en granjas acuícolas presentado que se propone en este trabajo de investigación se desarrolló siguiendo el modelo de prototipado, cuyo diseño se basa en identificar las especificaciones de los requisitos, la solución y, en algunos casos, la tecnología más adecuada para las condiciones socioeconómicas de los acuicultores.

Para la elaboración del prototipo fueron necesarios los materiales descritos en la Tabla 1, la cual muestra los distintos tipos de componentes de hardware y una breve descripción de éstos. Para la selección de estos componentes se consideró su precisión, confiabilidad y uso industrial, permitiendo el desarrollo de un dispositivo portátil multiparámetro con tecnologías de uso libre y abiertas.

Tabla 1. Especificación de los componentes de hardware del dispositivo portátil.

Tipo	Descripción
Conector BNC Hembra - Atlas Scientific	Interfaz de hardware especial para conectar los sensores Atlas Scientific a los respectivos EZO.
Microcontrolador ATmega328	Placa con microcontrolador
PT-100 (Probeta de temperatura - AtlasScientific)	Sensor de temperatura con rangos desde -200°C a 850°C.
Circuito de Temperatura EZO-RTD - AtlasScientific	Circuito de temperatura que permite la lectura precisa de temperatura a través del sensor PT-100.
Probeta de Oxígeno Disuelto - AtlasScientific	Sensor de oxígeno disuelto con rango desde 0 - 100 mg/L.
Circuito de Oxígeno Disuelto EZO-DO - AtlasScientific	Circuito de oxígeno disuelto capaz de leer micro-voltajes en el agua.
Probeta de pH - AtlasScientific	Sensor de pH para rangos de 0-14.
Circuito de pH EZO-pH - AtlasScientific	Circuito de pH capaz de leer micro-voltajes en el agua.
Probeta de conductividad - AtlasScientific	Sensor de Conductividad para rangos de 0.07 - 500,000+ S/cm
Circuito de conductividad EZO-EC - AtlasScientific	Circuito de conductividad capaz de leer micro-voltajes en el agua.
Expansor puerto serie (8:1) - AtlasScientific	Circuito que permite conectar ocho dispositivos a través de una sola interfaz de serie
Pantalla de cristal líquido (LCD) 16x2 + Interfaz I2C	Pantalla LCD con dos filas de dieciséis caracteres cada una, controlada por un circuito I2C para su fácil manipulación.
Zumbador Genérico	Dispositivo electrónico capaz de emitir sonidos con una frecuencia entre 300-2300Hz
Módulo GSM SIM900	Componente electrónico capaz de enviar SMS y comunicación GPRS a través de una tarjeta SIM
Módulo de almacenamiento 120801	Componente electrónico que permite la escritura y lectura de datos en una tarjeta Micro SD

La arquitectura del sistema propuesto se presenta en la Figura 1, mediante un diagrama de bloques.

La Figura 1 muestra la configuración del dispositivo móvil que está constituido por cuatro componentes: un microcontrolador, un módulo de almacenamiento, un módulo para notificaciones vía SMS, un módulo de despliegue que consiste en una pantalla LCD que es controlada por una interfaz I2C, y un módulo de medición que se compone por los cuatro sensores con sus respectivos circuitos controladores y el expansor de puerto serie.

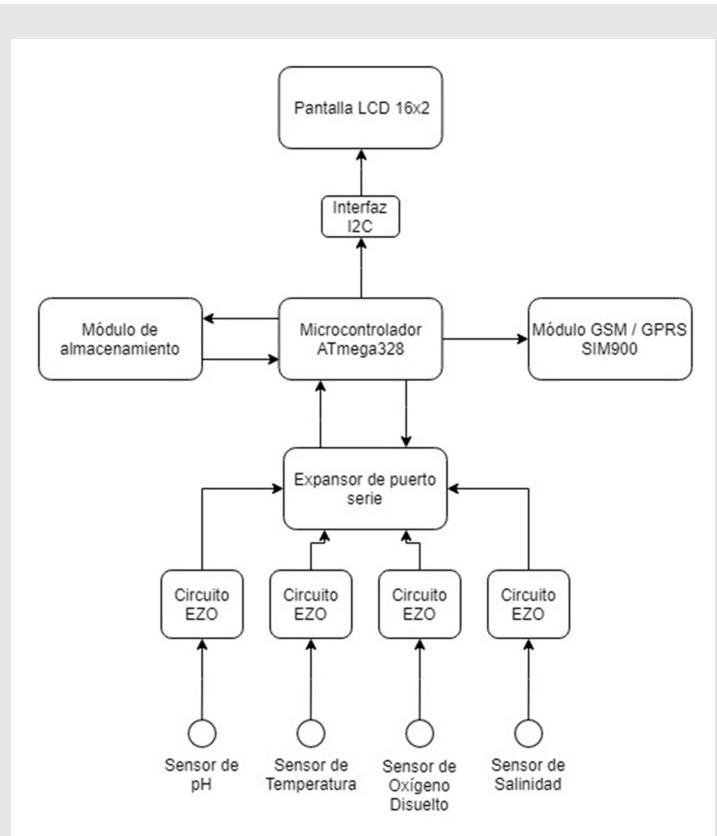


Figura 1. Diagrama de bloques del dispositivo.

Para lograr lo anterior, se realiza un proceso de inicialización en el microcontrolador al momento de encender el dispositivo portátil, y mediante bloques de código se despliega un mensaje de bienvenida, continuando con la medición de los parámetros.

Por otro lado, el dispositivo fue realizado en laboratorio para determinar la precisión y exactitud del dispositivo en el muestreo y despliegue de los valores muestreados, a través del uso de soluciones buffer para la calibración de los sensores. La solución buffer para la calibración del sensor de oxígeno disuelto está compuesta por 70 por ciento de agua y 30 por ciento de sulfito de sodio. Mientras que, las soluciones buffer para la calibración del sensor de pH está compuesta por agua en un 99.2 por ciento, 0.7 por ciento de tetraborato de

sodio y 0.1 por ciento de ácido clorhídrico. Finalmente, la solución para la calibración del sensor de salinidad está compuesta por 70 por ciento agua y 30 por ciento de cloruro de potasio.

Para comprobar el correcto funcionamiento del prototipo, se realizaron las pruebas con las soluciones correspondientes. Se comenzó con el de pH, utilizando el buffer de menor magnitud que es el de 4.0. Posteriormente se utilizaron uno de 7.0 y 10.0, en ese orden. Las lecturas registradas por el sensor mostraron una funcionalidad óptima, con un margen de diferencia menor a 0.1 unidades.

Un procedimiento similar se llevó a cabo con el sensor de salinidad, en donde primero se probó con una solución de 12,880 ppm, y posteriormente una de 80,000 ppm. En ambas pruebas el resultado fue el esperado, pues en la práctica la diferencia no mayor a 10 unidades es despreciable. Así mismo, en el caso de oxígeno disuelto se utilizó una solución cuyo valor es de 0 ppm. La diferencia registrada fue menor a 0.1, por lo que se considera que el sensor se encuentra en óptimo funcionamiento. En la Tabla 2 se muestran los datos obtenidos en las pruebas realizadas con las soluciones buffer.

RESULTADOS

La funcionalidad y eficiencia de los sensores acoplados al sistema de medición y notificación propuestos fueron evaluados a través de las soluciones buffer mencionadas anteriormente, donde se logró comprobar la eficacia del dispositivo (ver Tabla 2).

Tabla 2. Datos de las pruebas realizadas con las soluciones buffer.

Sensor	Esperado	Obtenido
pH	4.0	4.122
	7.0	7.012
	10.0	10.131
Salinidad	12,880	12,876
	80,000	79,993
Oxígeno disuelto	0	0.148

Como se puede observar en la Tabla 2, la precisión o exactitud de las mediciones obtenidas de los parámetros muestreados con el dispositivo portátil denotan su eficacia. La ligera variación observada en cada uno de éstos se debe a la exactitud ofrecida por los sensores, para el pH se ofrece una exactitud del ± 0.002 [16], para la salinidad del $\pm 2\%$ [17], y para el oxígeno disuelto del ± 0.05 [18].

Para obtener simultáneamente el valor proporcionado por los cuatro sensores, se utilizó el expansor de puerto serie. Este expansor tiene la particularidad de abrir y cerrar un puerto de acuerdo con el que el microcontrolador le indique.

Mientras que, el despliegue de la magnitud de los parámetros, se utilizó un display LCD de 16x2 caracte-

res mediante el controlador I2C. La elección de esta pantalla se debe la versatilidad, facilidad de uso y fácil manipulación mediante los puertos de serie.

Uniendo estas dos características, la del expansor de puerto serie y la pantalla de cristal líquido, se puede mostrar en tiempo real el valor de los cuatro sensores, obteniendo y desplegando los datos de un sensor a la vez.

Para suministrar la energía eléctrica se utilizó una batería portátil de 10,000 mAh.

Como valor añadido, se incorporó una tarjeta Micro SD, mediante el módulo 120801, con la finalidad de crear un historial de datos. El bloque de código utilizado permite el almacenamiento del tipo de parámetro, el valor obtenido y los datos de la fecha y hora del registro. Además, este módulo provee la capacidad de enviar notificaciones por medio de mensajes tipo SMS, mediante el módulo SIM900, al celular del supervisor de calidad. Estas dos funcionalidades permiten al productor establecer periodos de monitoreo en donde el dispositivo portátil obtenga los datos de los parámetros de calidad del agua, los almacene y en caso de detectar una anomalía en alguna de las lecturas, realizar la notificación pertinente, permitiendo al productor realizar otras actividades mientras el dispositivo realiza las mediciones.

El dispositivo se conceptualizó y diseño pensando en la usabilidad de éste en el entorno de las granjas acuícolas, considerando que éste fuera ligero y ergonómico para su transporte, considerando una agarradera de 10 a 15 centímetros para que permitiendo adaptarse al ancho de la palma y lograr una sujeción adecuada, considerando lo establecido en [19].

En la Figura 2 se muestra el prototipo del dispositivo portátil propuesto en esta investigación para el monitoreo de la calidad del agua en granjas acuícolas.



Figura 2. Dispositivo portátil para el monitoreo de la calidad del agua - Vista Exterior.

El prototipo creado con esta investigación presenta como principal ventaja la portabilidad y su bajo costo de adquisición, así como la independencia de otras tecnologías como son equipos de cómputo.

CONCLUSIONES

Se conceptualizó, diseñó e implementó un dispositivo multiparámetro portátil para el monitoreo de los parámetros de calidad en agua de granjas acuícolas. A diferencia de otras propuestas que son capaces de medir los mismos parámetros de calidad que el prototipo desarrollado, este dispositivo es versátil por la facilidad de transporte, sensado y medición en tiempo continuo de las variables de interés. Además, la actual propuesta provee ofrece la capacidad de realizar las mediciones durante altos periodos de tiempo y almacenar los datos sistemáticamente. Aunado a esto, este dispositivo es capaz de notificar al usuario un mensaje de texto, mediante SMS en caso de que algún parámetro se encuentre fuera del rango idóneo para el crecimiento del camarón.

Como trabajo futuro el prototipo descrito en este trabajo será aplicado para monitorear el oxígeno disuelto, nivel de pH, temperatura y salinidad en varias granjas acuícolas del estado de Colima, con la finalidad de evaluar y mejorar su usabilidad, medir su impacto y eficiencia en un entorno real.

BIBLIOGRAFÍA

[1] Food and Agriculture Organization of the United Nations (2019). *An estimated 3 million tonnes of shrimp entered the international trade in 2018*. Consultado el 17 de Julio del 2019 de la página electrónica: <http://www.fao.org/in-action/globefish/marketreports/resource-detail/es/c/1199292/>.

[2] Malagrino, G., Lagunas, M. y Rubio A. O. (2008). *Environmental impact reduction through ecological planning at Bahía Magdalena, México*. *J. Environ. Biol.* 29, 179-182.

[3] FAO. (2010). *Documento técnico de pesca N. 475, Estudio mundial sobre las pesquerías del camarón, de la página electrónica: http://www.fao.org/3/i0300s/i0300s.pdf*

[4] Comisión Nacional de Acuicultura y Pesca. (2018). *Produce acuicultura mexicana más de 400 mil toneladas de pescados y mariscos*. Consultado el 25 de octubre del 2019 de la página electrónica: <https://www.gob.mx/conapesca/prensa/produce-acuicultura-mexicana-mas-de-400-mil-toneladas-de-pescados-y-mariscos-172466>

[5] Meganoticias. (2019). *Colima 5° lugar nacional en producción de camarón*. Consultado el 25 de octubre del 2019 de la página electrónica: <https://www.meganoticias.mx/colima/noticia/colima-5o-lugar-nacional-en-produccion-de-camaron/>

ma-50-lugar-nacional-en-produccion-de-camaron/51035

[6] Instituto Nacional de Pesca. (2018). *Acuicultura | Camarón blanco del Pacífico*. Consultado el 25 de octubre del 2019 de la página electrónica: <https://www.gob.mx/inapesca/acciones-y-programas/acuicultura-camaron-blanco-del-pacifico>

[7] Encinas, C., Ruiz, E., Cortez, J. and Espinoza, A. (2017). *Design and implementation of a distributed IoT system for the monitoring of water quality in aquaculture*. 2017 *Wireless Telecommunications Symposium (WTS)*, 1-7.

[8] Frias-Espéricueta, M. y Páez-Osuna, F. (2001). *Toxicidad de los Compuestos del Nitrógeno en Camarones*. *Camaronicultura y medio ambiente* pp.129-150.

[9] Carbajal-Hernández, J., Sánchez-Fernández, L., Hernández-Bautista, I. and Hernández-López, J. (2017). *Modelo basado en redes neuronales artificiales para la evaluación de la calidad del agua en sistemas de cultivo extensivo de camarón*. *Tecnología y ciencias del agua*, 08(5), pp.71-89.

[10] Maulana, Y., Wiranto, G., Kurniawan, D., Syamsu, I. and Mahmudin, D. (2018). *Online Monitoring of Shrimp Aquaculture in Bangka Island Using Wireless Sensor Network*. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, 8(2), p.358.

[11] Defe, G. y Antonio, A. (2018). *Multi-parameter Water Quality Monitoring Device for Grouper Aquaculture*. 2018 *IEEE 10th International Conference on Humanoid, Nanotechnology, Information Technology, Communication and Control, Environment and Management (HNICEM)*.

[12] Flores-Mollo S. y Arcena-Pizarro, D. (2018). *Sistema de monitoreo remoto de acuicultura en estanques para la crianza de camarones*. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería* 26, pp. 55-64.

[13] Salim, T., Haiyunnisa, T. and Alam, H. (2016). *Design and implementation of water quality monitoring for eel fish aquaculture*. 2016 *International Symposium on Electronics and Smart Devices (ISESD)*.

[14] Natan, O., Gunawan, A. and Dewantara, B. (2019). *Design and Implementation of Embedded Water Quality Control and Monitoring System for Indoor Shrimp Cultivation*. *EMITTER International Journal of Engineering Technology*, 7(1), pp.129-150.

[15] Olivo-Gutiérrez, M., N. García-Díaz, A. Olivo-Gutiérrez, J. A. Verduzco-Ramírez y J. Villabolos-Gómez. (2018). Prototipo para el monitoreo automatizado de parámetros de calidad del agua en una granja de camarón. *Científica*, 22, pp.87-95.

[16] Atlas Scientific. (2019). Lab Grade pH Probe (p. 1). Atlas Scientific. Obtenida el 9 de septiembre de 2019, de la página electrónica: https://www.atlas-scientific.com/_files/_datasheets/_probe/pH_probe.pdf

[17] Atlas Scientific. (2019). Conductivity Probe K 0.1 (p. 1). Atlas Scientific. Obtenida el 9 de septiembre de 2019, de la página electrónica: https://www.atlas-scientific.com/_files/_datasheets/_probe/EC_K_0.1_probe.pdf

[18] Atlas Scientific. (2019). Dissolved Oxygen Probe (p. 1). Atlas Scientific. Obtenida el 9 de septiembre de 2019, de la página electrónica: https://www.atlas-scientific.com/_files/_datasheets/_probe/DO_probe.pdf

[19] Patkin, M. (2001). A Check-List for Handle Design. South Australia: Department of Surgery The Royal Adelaide Hospital. Obtenida el 9 de Septiembre de 2019, de la página electrónica: <http://ergonomics.uq.edu.au/eaol/handle.pdf>